

逢 甲 大 學
建 築 專 業 學 院
碩 士 學 位 學 程 論 文

公共建築遮陽設施之對室內環境改善之影響研究-以
台中逢甲大學屋頂農園為例

A Research of the Public Building Shade Facilities
Influence on Indoor Thermal Environment -A Case Study
of Taichung Feng Chia University.

指導教授：林衍良博士
研 究 生：廖珮辰

中 華 民 國 一 百 零 六 年 一 月

摘要

以台中市政府環保局推動之低碳城市設施中-公共建築遮陽設施為研究背景。其中，屋頂綠化在都市層面上可以對抗熱島效應，在空間層面上不只有效的利用屋頂空間，更擁有增加建築物隔熱並降低室內溫度之能力，而室內熱環境之優劣將會對人體的健康、舒適及工作效率有很大影響；但以往許多屋頂綠化對室內之影響研究，通常是以有植栽的農園、花園為對象，且貼附於樓板之型式呈現，故本研究以無植栽狀態之屋頂農園為研究對象，並探討有別於傳統之不同盆鉢式綠屋頂對室內熱環境評估。

本研究先以溫濕度計對已施作完畢之盆鉢式屋頂農園進行實測，將該實測之結果與 CFD 數值模擬之結果進行驗證比較，驗證其數值模擬之可信度後，接著透過數值模擬將對照組及實驗組進行模擬，以該模擬數據探討此盆鉢式屋頂農園型式對下方室內熱環境影響，並提供往後盆鉢式屋頂農園設計之參考，主要研究結果如下：

1. 於實測與模擬驗證相互比較結果中，其兩者間溫度差值最小約 0.9~4.1%間，可確知，後續模擬設定與流程之可信度是可被建立的。
2. 就模擬實驗結果中，不鏽鋼截水盆其盆鉢通氣層間距為 8cm 時室內環境最為舒適，其方案於 PMV(Predicted Mean Vote)與 PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)值比較時，比對照組最大可低 1.1(PMV)，且降低了 37.9%的人感到不舒適。並證明通風層之風速越快，其改善室內之 PMV 程度越高，代表本研究之盆鉢形式之通風層可引入風或加快風速來改善室內之舒適度。

關鍵詞：

遮陽設施、計算流體力學、熱舒適度、盆鉢式屋頂農園、自然通風。

目 錄

摘 要.....	I
目 錄.....	II
表目錄.....	IV
圖目錄.....	V
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機及背景.....	1
1-2 研究目的.....	2
1-3 研究方法.....	3
1-4 研究範圍.....	4
1-5 研究流程.....	5
第二章 文獻探討.....	6
2-1 屋頂綠化:.....	6
2-2 熱環境之理論:.....	8
2-3 室內熱環境評估指標.....	12
2-4 風環境相關文獻.....	14
2-5 小結.....	16
第三章 實測與驗證之方法及結果.....	18
3-1 現地實測方法與結論.....	18
3-1-1 實測方法.....	18
3-1-2 實測數據結果.....	22
3-2 CFD 數值模擬方法及驗證.....	24
3-2-1 模擬方法.....	24
3-2-1 驗證結果.....	28
第四章 方案模擬實驗之設定與結果.....	31
4-1 方案模擬實驗設定.....	31
4-1-1 模型條件:.....	31
4-2 方案模擬實驗結果.....	38
4-2-1 對照組與實驗組之結果.....	39

4-2-3 以通風層探討實驗組之盆鉢式屋頂農園對室內熱環境之影響.....	44
4-3 方案模擬實驗結論	45
第五章 結論與建議.....	47
5-1 研究結論.....	47
5-2 研究建議.....	48
參考文獻.....	49

表目錄

表 2-1 屋頂綠化類型、型式表	6
表 2-2 屋頂綠化型式各細分表	7
表 3-18F 盆鉢式屋頂農園之現況表	19
表 3-2 儀器規格與性能表	19
表 3-3 台中市 1992-2010 之月份統計表	20
表 3-4 測點位置與編號詳表	21
表 3-5 實測數據結果表	22
表 3-6 溫度趨勢線圖表	23
表 3-7 FloVENT 數值模擬之適用範圍	25
表 3-8 FloVENT 內建舒適度參數輸出表	25
表 3-9 四日之溫度數據設定值	26
表 3-10 9 月 3 日實測與模擬之比較結果表	28
表 3-11 9 月 8 日實測與模擬之比較結果表	28
表 3-12 9 月 12 日實測與模擬之比較結果表	29
表 3-13 9 月 26 日實測與模擬之比較結果表	29
表 3-14 模型材質與門窗孔隙率設定測試表	30
表 4-1 9 月 26 日之當日環境設定表	31
表 4-2 9 月 26 日 Boundary Layer Generate 數值一覽表	32
表 4-3 B、B1 及 B2 之室內分析區塊設置表	33
表 4-5 B、B1 及 B2 之盆鉢式屋頂農園通風層分析區塊設置表	33
表 4-5 各材質之熱傳透率設定表	34
表 4-6 對照組 B 組之上方盆鉢式屋頂農園形式表	36
表 4-7 實驗組 B1、B2 大組之盆鉢式屋頂農園形式表	37
表 4-8 CFD 之 PMV、PPD 計算設定表	38
表 4-9 變因設定	38
表 4-10 對照組 B 組溫度結果表	39
表 4-11 對照組 B 組之 PMV 結果表	39
表 4-12 實驗組 B1 大組之溫度結果表	40
表 4-13 實驗組 B1 大組之 PMV 結果表	41
表 4-14 實驗組 B2 大組之溫度結果表	42
表 4-15 實驗組 B2 大組之 PMV 結果表	43

表 4-16 B、B1-2 及 B2-3 通風層風速與室內 PMV 之平均值疊圖	44
表 4-17 對照組與實驗組於各時段之溫度平均比較表	45
表 4-18 對照組與實驗組於各時段之 PMV、PPD 平均比較表	45

圖目錄

圖 1-1 研究範圍	4
圖 1-2 研究流程圖	5
圖 2-1 台灣地區各方位之日射量	9
圖 2-2 PMV-PPD 曲線圖	13
圖 2-3 都市風梯度圖	14
圖 3-1 實測場地位置示意圖	18
圖 3-2 實測流程圖	20
圖 3-3 Flo VENT 運算流程圖	24
圖 3-4 FloVENT Boundary Layer Generate 風廓線模型生成解說圖	26
圖 3-5 模型與計算域示意圖	27
圖 3-6 空間尺寸示意圖	27
圖 4-1 計算域與風廓模型示意圖	32
圖 4-2 B、B1 及 B2 之室內門窗與開啟位置平面示意圖	35

第一章 緒論

1-1 研究動機及背景

環境氣候的惡化使人們開始正視環境問題，而每人每天平均共有 80%~90% 的時間處於室內空間 (Abbriti and Muzi, 1995)，故整體耗能因建築面積而提高。為了解決環境問題，近年來都市綠化的思維在水泥叢林中慢慢的出現；其中，屋頂綠化最為興盛，另外根據相關研究指出，將其屋頂綠化的概念轉化成屋頂農園，透過適當的應用與配置下可控制室內熱環境並降低發生不舒適性的機率(張育森、賴允慧，2011)；以台中市之空氣品質之議題下探討，可透過綠屋頂的植物吸收以淨化空氣，因屋頂粗糙程度增加，提高了摩擦阻力來阻擋、過濾和吸附各種塵埃，若一個城市屋頂綠化率達到 50%，可使其空氣中的塵埃降低 40% 左右(張育森、賴允慧，2011)，故屋頂綠化對於高都市化之台中可帶來較大的效益。

但目前相關研究大多是以植栽成長中、有植栽的狀態下且直接設置於樓板上所進行之綠屋頂研究，若以「農園」的角度來看，因農園採收後勢必有短期的休耕，對於該期間(無植栽狀態)對室內環境又會帶來甚麼樣的影響?結合以上動機，本研究依循逢甲大學營繕組推動的「校園屋頂菜園」計畫下進行。

1-2 研究目的

由於目前文獻多以有植栽、複層植栽等情況下進行探討，故本研究主要探討無植栽狀態下之不同盆鉢式屋頂農園型式對室內熱環境之影響分析。

本研究先以溫濕度計對已施作完畢的盆鉢式屋頂農園及其下方室內空間進行現地實測，該實測結果將有助於數值模擬軟體(CFD)之驗證及參考，驗證其數值模擬之可信度後，接著透過數值模擬將原型「對照組」及盆鉢式屋頂農園改變形式後之「實驗組」進行模擬分析，探討並比較「對照組」與「實驗組」對下方室內之熱環境，並提供往後此類盆鉢式屋頂農園設計之參考，主要研究目的如下：

- 一、**可信度之驗證:**利用實測獲取數值模擬所需要的參數再將其參數置入數值模擬中進行模型設定後，將現地實測之結果做為數值模擬之驗證比對依據，進行預測準確性的驗證，以確定 CFD 數值模擬預測之準確性。
- 二、**延伸方案模擬:**透過 CFD 數值模擬探討原型「對照組」與不同型式之盆鉢式屋頂農園之「實驗組」。主要就「實驗組」型式、高度、排列等配置的變化所產生的通風層對室內的影響做綜合評估，並將對照組與實驗組做分析比較，且針對室內熱環境的影響做歸納，並提出最優化之方案。

1-3 研究方法

本研究主要以文獻回顧、現地實測、數值模擬三種研究方法進行。文獻部分主要收集屋頂綠化、熱環境、室內熱環境評估指標以及風環境相關之文獻，以探討相關流程及應用方法；實測部分分為「實測方法」及「實測結果」；而電腦數值模擬部分可分為「模擬實測方法」、「驗證」及「方案實驗」，最後以綜合舒適性評價以比較並整理出不同型式之盆鉢式屋頂農園對室內熱環境之影響。

一、 文獻回顧法：

蒐集屋頂綠化之實物之文獻，對於建築室內熱環境之現有文獻理論和電腦數值模擬之建築環境分析之應用進行廣泛資料蒐集與整理，以作為本研究之基礎和建置的理論依據，並根據舒適度評價理論為依據，以利「對照組」與「實驗組」進行分析。

二、 現地實測：

實地觀察：將實地現況之資料做環境之設定基礎並做為數值模擬之驗證主要依據，實地分為室外之屋頂農園及兩側綠屋頂其下之室內。

三、數值模擬：

1. 驗證比較：主要將盆鉢式屋頂農園各實測與模擬之結果做溫度比較，以驗證其數值模擬之準確性。
2. 方案實驗：以文獻及實地現況為參考依據，設計兩組盆鉢式屋頂農園做為「實驗組」，並針對「對照組」與「實驗組」之盆鉢式屋頂農園對室內熱環境的影響進行評估，以提供各種室內狀態之數據。

1-4 研究範圍

本研究之對象為種植於盆鉢中可食性植栽之「盆鉢式屋頂農園」，並依循研究動機與目的，因此本研究對象主要針對休耕期間之「盆鉢式屋頂農園」進行研究。

如圖 1-1，本研究以校園既有建築物之屋頂綠化及與其下方之室內進行現地實測，實測項目包括外氣溫、土壤上方、盆鉢下方及室內溫度，並截取中央氣象局之當日數據，透過數值模擬軟體 CFD-FloVENT 進行「對照組」與「實驗組」的模擬，並透過可視化之圖像以及擷取模擬計算後的數據(PMV 及室內溫度)進行室內熱環境之綜合評估。

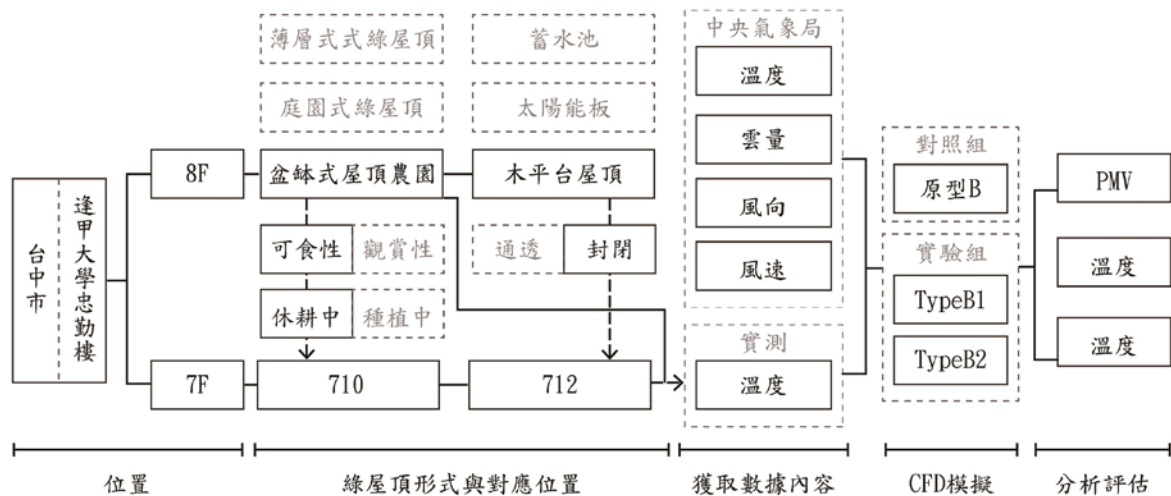


圖 1-1 研究範圍

(資料來源:本研究繪製)

1-5 研究流程

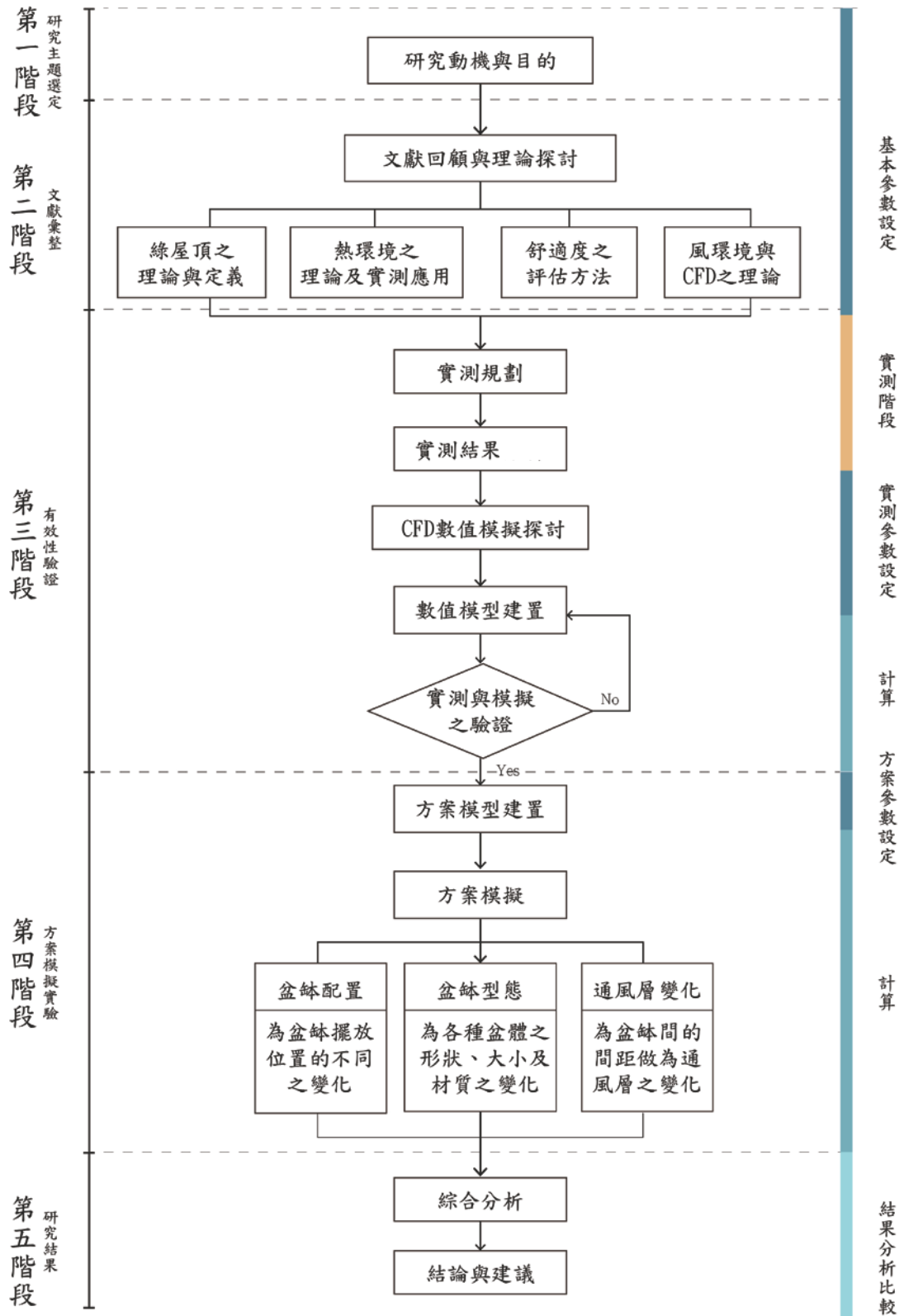


圖 1-2 研究流程圖

(資料來源:本研究繪製)

第二章 文獻探討

本章主要在於收集並彙整「屋頂綠化」、「熱環境」、「舒適性評估」、「風環境理論」，藉由合適之參考文獻做為基礎資料並作為本研究之依據。

2-1 屋頂綠化：

根據國際生態和環境組織的調查，按成年人每人每天呼吸消耗 0.75 kg O₂、排出 0.9 kg CO₂ 計算，則每人平均 10m² 的綠化面積，就可以完全吸收呼出的 CO₂(張育森、賴允慧，2011)，而對於寸土寸金的都市而言「屋頂綠化」成為在都市綠化中最佳的選擇。

屋頂綠化可分為許多不同類型，本研究透過「綠屋頂技術手冊」(蔡厚男，2013)及「屋頂綠化技術手冊」(內政部建築研究所，2015)，將屋頂綠化型式分成兩大類型及三種型式，其詳細如表 2-1、2-2 所示。

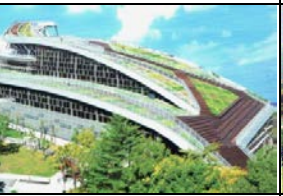
表 2-1 屋頂綠化類型、型式表

類型	粗放型綠屋頂	密集型綠屋頂	
型式	薄層式屋頂綠化	盆鉢式屋頂綠化	庭園式屋頂綠化
圖片			
特徵	覆土深度<30 cm 適合種植強韌、低矮的植物，如灌木、草花、草皮	非全面綠化使用之形式，常以各種造型、尺寸盆器種植植物，並以農園型式呈現。	可種植小喬木、灌木及草花、草皮等多種植物並配合多種設施，使生物多樣性豐富且美觀。

	不限於平屋頂(適於屋面坡度 45° 以下)	設於平屋頂 (適用於屋頂坡度 10° 以下)	
機能	具減緩熱島效應效果，且增加生物多樣性。		
	快速增加城市綠化面積，符合永續環保。	具經濟生產、休閒活動、療癒效果。	具美觀欣賞、休憩空間大、貯留雨水效果高
建議場所	既有建物		新設建物
	公共設施、斜屋頂、學校機關	社區住宅、公家機關	公共設施、私人住宅、商業大樓
選擇要點	可大面積綠化，但植栽種類有限，人為活動空間較小。	必須覆蓋 80%以上屋頂面積才有良好隔熱效果。	建築物之承載量和喬木固定問題是施做點首要考量條件。
優點	施工簡單、維護容易、價格較低，平面或斜屋頂皆適合。	操作施工容易且可自由移動，且沒有根系破壞結構的疑慮。	景觀效果佳，植物層次豐富。
缺點	必須種植低矮、種類較單純的植物，生態性較不足。	不易種植植栽大樹木，澆水費工，且物種若多樣，照較費心力。	設計施作耗時費力，維護管理需要高技術。若結構有滲水問題時，處理較困難。

(資料來源：內政部建築研究所，2015、綠屋頂專題網、蔡厚男，2013、本研究整理)

表 2-2 屋頂綠化型式各細分表

薄層式屋頂綠化			
全綠式薄層綠化	半綠式薄層綠化	斜屋頂綠化	鐵皮屋頂綠化
			
透過全面式綠化不只提升隔熱與節能的效果，更增加土壤的透水面積，及生物多樣性。鋪設耐踐踏草皮區，可做為活動空間。	綠屋頂或陽台可以結合木平台或利用鋪面，創造不同的景觀與視覺。	坡度>5 時，須考慮土石滑落及保水問題，施工通常需以客製化的工法製作，目前以砂包堆疊及導流樁兩種工法為主流。	透過施作綠屋頂降溫。但鐵皮屋頂承載力低、斜度大代表覆土不宜過深、保水不易，故案例極少。
盆鉢式屋頂綠化			
保利龍箱/一般花盆	植栽箱	底部給水植生盆	保綠植生盆
			

優點:架設容易、成本低。	優點:除了箱體大以外,可自由調整高度、設層,且通氣排水佳,價格低。	優點:以底部給水為特點且水位超出時可自動排水,且降低用水量及泥漿流出。	優點:直接溢流到水管及落水頭以解決泥水漫流。垂入蓄水盆的布條吸水後供給水分。
缺點:屋頂容易漏水、容易積水爛根。	缺點:土壤和養分容易流失,須經常澆灌、施肥和補土,且容易造成落水頭阻塞。	缺點:載體較小,流出的泥水可能造成落水頭的阻塞,滴灌管也可能造成阻塞。	缺點:因為針對淺根植物所設計,覆土層僅 7.5cm。
庭園式屋頂綠化			
陽台露臺庭園		屋頂花園	
			
除了廣闊的視野外,也擁有了觸手可及的花園和生態,享受生物多樣性。		覆土深度 0.7~1.2m,屋頂靜載重須達一公噸以上,花園里有涼亭、硬鋪面、假山,數米高的喬木遮陰、與地面的花園無異。	

(資料來源：台灣綠屋頂暨立體綠化協會，2014、本研究整理)

由表 2-1 所示，密集型綠屋頂通常以小型喬木、灌木或地被植物進行複層綠化的方式；粗放型綠屋頂，為利用單層地被植物覆蓋屋面。並藉由表 2-2 得知，其三種屋頂綠化型式皆具有增加生物多樣性、綠化面積、休憩空間、及減緩都市熱島等功能，薄層型綠屋頂通常以簡約的形式，並滿足生態及雨水暫留之最低限度為主；盆鉢式屋頂綠化則以機動性高為最大特點，並常以菜園及農園的形式呈現；庭園式屋頂綠化之裝飾性質較強，最主要以滿足人的視覺需求為主軸。

2-2 熱環境之理論：

在地球環境中，日照之輻射熱傳遞於建築物上，再傳入室內之熱量多寡可透過材質不同來加以控制。本研究於此章針對傳熱現象進行文獻之收集與彙整。

1. 熱傳透

當建築外殼受太陽輻射照射時，其中約有 20~30% 的射量被反射，一部分的熱量則根據不同的構造特性而被吸收後傳至室內；構造吸收日射量之後溫度升高，並向兩側產生傳熱作用。因此在建築物外殼的熱傳透特性上建築物外殼的熱傳透作用由室內、室外氣溫，及外日射量的大小所組成，其建築物外殼熱傳透率 U_i 之計算如下(1)(內政部建築研究所，2005):

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \sum \frac{dx}{kx} + ra + \frac{1}{h_i}} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

U_i : i 部位之熱傳透率 $[W/(m^2 \cdot K)]$

ra : 中空層之熱阻 $[(m^2 \cdot K/W)]$

h_o : 外表面熱傳遞率 $23.0 [W/(m^2 \cdot K)]$

h_i : 內表面熱傳遞率 $7.0 [W/(m^2 \cdot K)]$

kx : i 部位內第 x 層材料之熱傳導係數 $[W/(m^2 \cdot K)]$

dx : i 部位內第 x 層材料之厚度 $[m]$

從台灣地區(24°N)各方位之射量相對關係可得知(圖 2-1)，於水平平面的日射量比其他方位高出 2 倍左右，故造成了建築物頂層的室內熱環境較其他層之室內熱環境普遍來得差(杜希聖，1980)。

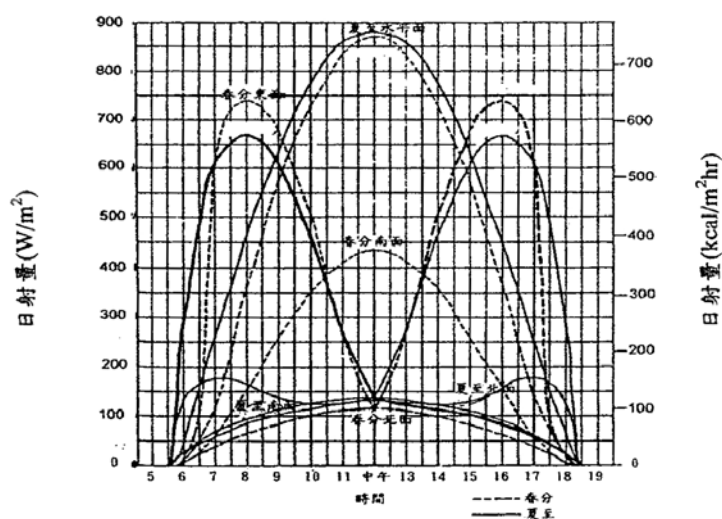


圖 2-1 台灣地區各方位之日射量

(資料來源:杜希聖，1980)

2. 屋頂隔熱

除建築材質外，可透過建築屋頂外殼來增加熱阻，並利用隔熱材料進一步控制室內之熱環境，營造出節能且舒適之室內熱環境；故得以遮陽、使用隔熱材料等方式對屋頂進行降溫，如下表 2-3 詳述。

表 2-3 建築外殼隔熱之手法

自然蒸散	
所謂蓄熱體係指熱容量大的構造，其中以水的蓄熱效果最佳，其蒸發熱可達到 540(kcal/kg)，利用其吸熱效果優良的特性，藉由蒸發來降低表面溫度，並達到表面冷卻的效果。	
覆土	可利用覆土的熱阻及其內部水分之蒸發作用來散熱和降低室內的熱流，並透過覆土深度來控制隔熱效果。
屋頂花架 屋頂花園	利用閒置空間創造具有節能及休憩的空間，使室內溫度更加穩定。花架利用藤蔓來形成天然的遮蔽；花園則利用植栽及土壤具有蒸散、隔熱及減少日射量的特性來維持室內及表面溫度。
屋頂水池	在夏季白天，將反射板覆蓋池面以減少日曬並吸收室內的熱量；夜晚則掀開反射板，使水池向室外蒸散，以降低室內溫度。
灑水設備	此法主要藉由噴灑於屋面上的水將熱以蒸發吸收淺熱的方式將屋頂溫度降低。
表面處理	
對於相同斷面的構造而言，表面日射吸收率和輻射率的組合(如色彩明度高、防熱塗劑或隔熱磚)，是影響傳透熱量的最主要因素。	
淺色表面	淺色系較深色系塗料的熱流量小且日射吸收率也小，故建築物表面可透過淺色且光滑的表面來反射熱量。
鋪設隔熱層、 反射太陽輻射	通常以具有隔熱、蓄熱及反射陽光特性之材料來降低室內溫度或減少屋頂吸收熱能。於初期具有優良的隔熱效果，且工期短、施作容易；但容易受到外在影響，隔熱材性能亦隨之降低。
空氣層、雙層屋頂	
熱阻會隨著封閉空氣層之厚度增加而變大，但厚度在 2cm 以上時，熱阻反而會減少。在空氣層為流動的狀態下，雖空氣的熱阻降低，但可達到隔熱、降低溫度並帶走熱量等效果。	
雙層屋頂構造	透過棚架的搭設，利用外氣的流動將加蓋之屋頂或棚架上之熱量吹散、減少太陽對屋頂之輻射並隔絕雨水等。
天花板 及空氣層	在屋頂下層裝設天花板，與屋頂間留設空氣層與通風口，以通風的方式來排除熱量。
加設裝置	
於建築物外殼上加設裝置，以控制陽光、風等物理因子對室內熱環境所造成的影響。	
外遮陽	利用天窗採光時需避開太陽直射及提供外部反光遮陽。
通風塔及排氣 裝置	通風塔及自然排風扇主要以自然、零成本之理念下而建立，以減低室內環境的負荷及成本，有助於環境的改善。

(資料來源: 內政部建築研究所, 2005、周鼎金, 2004、本研究整理)

據表 2-3，雖「自然蒸散」所需之成本及維護管理會高出許多，但於空間的活用、隔熱保溫、環境保護上，所帶來的效益為中最高，而於土壤界面中，熱量在土壤主要分為熱容量、導熱率和熱擴散度，稱為土壤熱性質，並以分子間的熱傳導為主（萬鑫森，1987），透過覆土熱阻來減少室內的熱流，土層越厚其隔熱能力越好，並透過土壤中具有吸收與釋放熱能能力的水，以蒸散形式將熱能帶走，必能達到儲存及控制熱能、隔熱及保溫的效果，如表 2-4，土壤較其他材質之熱傳導率較低，證明土壤可視為一種隔熱材。

表 2-4 各材質之熱傳導率

屬性	名稱	w/(m.k)	屬性	名稱	w/(m.k)
金屬	銅	387.62	混凝土	普通混凝土	1.63
	鋁	237.36		輕量混凝土	0.52
	鐵(軟鐵)	48.05		氣泡混凝土	0.61
	不銹鋼	24.74	粉刷	水泥粉刷	1.08
石材	大理石	1.57		塑膠漆	0.61
	花崗石	2.17	木材	松	0.17
	水泥、石頭	1.7		杉	0.09
	蛭石顆粒	0.06		檜	0.10
土、沙	土(飽和)	0.6		合板	0.12
	土(黏土)	1.1	其他	石膏板	0.21
	土壤(有機物)	0.15		磁磚	1.27
	沙土(乾燥)	0.15		普通紅磚	0.61
	沙土(潮濕)	0.25		玻璃	0.77
	砂	0.48		瀝青	0.72
	砂礫	0.61		塑膠地板	0.32
水、冰	水	0.6		毛織布	0.13
	冰	2.21		聚丙烯(PP)	0.1 - 0.22

(資料來源黃漢泉，1994、The Engineering Toolbox 網站、本研究整理繪製)

2-3 室內熱環境評估指標

本章以收集各方室內熱環境之指標為主，並選取符合本研究之評估方法做為探討模擬實驗後之室內熱環境分析指標。

1. 舒適度相關理論

對於人體達到舒適溫風條件之評估指標如下表 2-5。

表 2-5 環境指標表示法

環境評估指標	氣候要素	提出者
1 有效溫度(ET)	溫、風、濕	Yaglou(1923)
2 修正有效溫度(CET)	溫、風、濕、輻射	Bedford(1947)
3 新有效溫度(ET*)	溫、風、濕、輻射	Gagge(1971)
4 合成溫度(RT)	溫、風、濕、輻射	Missenard(1933)
5 等溫感覺(EW)	溫、風、濕、輻射	Bedford(1937)
6 等感溫度(EQT)	溫、風、輻射	Dufton(1929)
7 平均輻射溫度(MRT)	同上	ASHVE
8 英式等感溫度 BET	同上	ASHVE
9 作用溫度(OT)	溫、風、輻射	Gasse(1940)
10 不快指數(DI)	DT、WT	美國氣象局
11 人體熱舒適度 PMV	輻射溫度、濕、代謝率、著衣量	P.O Fanger(1972)

(資料來源：陳啟中，2000)

其中，預測平均感覺(Predicted Mean Vote, PMV)，由丹麥學者 P.O. Fanger 教授於 1972 年所發表人體熱平衡模型，該模型以人體內淨熱量、四個環境因素(溫度、相對濕度、熱輻射及風速)及人為因素(衣著量及工作量)之間的熱平衡依照人的熱感覺表示人體處於不同溫濕度下所測得的心理感受(如表 2-6)，並以不滿意率(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)，表示在該 PMV 舒適指標中，以百分比表示人感到不舒適之程度。

表 2-6 人體舒適度指標

人體舒適感	Hot	Warm	Slight warm	Neutral	Slight cool	Cool	Cold
	酷熱	熱	暖	舒適	涼	冷	寒冷
PMV 值	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3

(資料來源：周佑亮，2009)

如圖 2-2，並依照 PMV 與 PPD 之曲線判斷不同著裝、從事不同

工作的人在不同熱環境中的熱感覺，以此評估熱環境感覺的重要指數與應對關係(周鼎金，1999)。

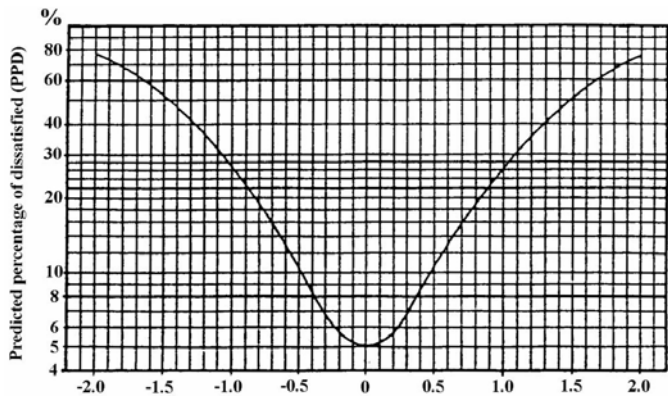


圖 2- 2 PMV-PPD 曲線圖

(資料來源：周鼎金，1999)

2. 人體代謝(metabolic unit)及著衣量(clothing unit)

「代謝量」表示在不同活動工作中所消耗之能量，一個代謝單位 met 為 58.2W/m²，詳表 2-7(陳啟中，2000、鄭元良等，2004)。

表 2- 7 人體消耗熱量值

活動量		種類	代謝率 W/m ²
靜態	躺	休息狀態	46
	坐姿		58
		活動狀態	70
動態	站姿	輕度	93
		中量	116

(資料來源:鄭元良等，2004)

「著衣量」為人體對外界熱量隔絕之程度，如表 2-8 為各種不同穿著衣服時之 clo 值，1clo 之著衣量為 DT=21.2℃、RH=50%、 $v=0.1\text{m/sec}$ 之靜坐條件下人體感覺到舒適的著衣量，而 1clo 約等於 0.155m²℃/w (陳啟中，2000)。

表 2- 8 穿著的 clo 值

clo 值	穿著種類	坐下時感覺舒適的基本溫度
0 clo	裸體，穿泳衣	29℃
0.5 clo	輕鬆長褲，襯衫；寬鬆打扮	25℃
1 clo	正式打扮，工作服	22℃
2 clo	厚重衣服，夾克，手套，帽子	14℃

(資料來源:陳啟中，2000)

2-4 風環境相關文獻

本章將收集風環境理論及風研究方法為主，並選取符合本研究之研究方法及數據做為探討模擬實驗之主要使用軟體及設定。

1. 垂直風向分佈

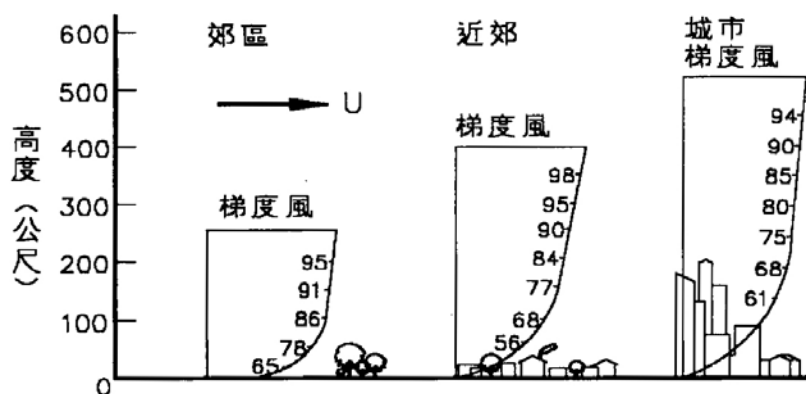


圖 2-3 都市風梯度圖

都市化影響了局部大氣邊界層，都市常較郊區溫度高，溫度差於都市上空形成局部的環流，使得風從郊區吹向都市，而使得其垂直梯度風的產生，如圖 2-3(陳啟中，2000)，其計算如公式(2):

$$\frac{U}{U_{\text{ref}}} = \frac{\log(Z/Z_0)}{\log(Z_{\text{ref}}/Z_0)} \dots\dots\dots(2)$$

公式中

Z_0 ：地表的粗糙程度(m)

Z_{ref} ：參考點的高度單位(m)

Z ：高度單位(m)

U ：風速單位(m/s)

U_{ref} ：參考點風速單位(m/s)。

粗糙長度代表近地表處流場渦旋尺度的量測值，與地表上地物分佈有密切關係，如表 2-9 詳述:

表 2-9 地況與地表粗糙長度之關係

地況	地表粗糙長度 Z_0 (cm)
沙地	0.01~0.1
農村田地	4~10
偏遠郊區	20~40
鄉鎮區	80~120

都會區	200~300
-----	---------

(資料來源：張世典等，1998)

2. 風場環境的預測

探討風場環境的方式目前包括風洞實驗、現地實測、1:1 環境實驗室、圖面預測及數值模擬等五種；就國內外文獻彙整風環境對於室內環境影響之相關研究，其風場預測之相關研究方法如下表 2-10。

表 2-10 風場相關之研究內容與方法

作者、年份	名稱及內容概要	研究方法
周佑亮， 2009	整合型建築外殼之陽台型式結合太陽能風扇對改善室內舒適度影響研究—以淡水地區為例	數值模擬 實測法
	針對建築外殼的探討與思考，以 CFD 與 Ecotect 模擬實驗之設定來改善室內舒適度影響。	
余建志， 2010	室內濕度與溫度對舒適度指標影響之研究	數值模擬
	以有效調控室內作業溫度並以人體健康、舒適為前提，針對室內空調溫度模擬出人體最適合範圍。	
歐陽乾錦， 2009	臥室空間室內舒適度與風水哲理之比對分析—以淡水地區為例	數值模擬
	以 CFD 軟體模擬臥室空間，針對開口的位置而產生的氣流流動，分析各空間方位的氣流風速。	
林暉舜， 2002	建築開窗與窗簾對室內熱環境舒適度之影響研究	實測法
	探討開窗率及窗簾之使用對於玻璃帷幕大樓室內熱舒適與節能之改善效果。	
秦子傑， 2006	垂直通風管對室內通風效益研究	風洞實驗 數值模擬
	主要探討垂直型通風管對室內空氣品質之改善，首先透過風洞實驗量測風洞中之風梯度與通風管於受風力及綜合作用之結果，並透過 CFD 計算流體力學程式探討其它變因。	
江哲銘， 1995	住宅單元空間模擬自然通風換氣對室內空氣環境影響之研究	數值模擬
	以台灣地區住宅單元空間室內空氣環境影響因子，氣流為探討對象，並應用計算流體(CFD)數值模擬進行室內氣流之分布與通風換氣等結果解析。	

(資料來源：本研究整理)

3. 計算機流體力學(CFD)模擬軟體

計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics)，是藉由電腦來執行一種物理性的虛擬實驗，並利用其軟體做分析、計算、預測流場，等流體運動。

表 2- 11 各類 CFD 之主要使用及概述

名稱	主要使用範圍	概述
Phoenics	建築熱環境及冷暖空調為主。	擁有計算流體、傳熱學軟體功能，包括:能源動力、兩相、多相流、航空航太、傳熱傳質、化工、燃燒、爆炸、船舶水利、化學反應、建築、暖通空調、流體機械、冶金、磁流體、環境、材料。
STAR-CD	不連續之自由液面流具	適合分析自由液面流(free surface flow) 之流體力學模擬。包含基礎熱流解析、多相流問題、化學反應/燃燒、旋轉機械，流動噪音、電磁場、鑄造等。
TASCflow	旋轉機械工程	擁有旋轉機械裁製的完整體系，被該領域 90%的企業作為主要的氣動/水動力學分析設計工具。
CFD-ACE+	複雜多物理場	可廣泛應用於所有工業領域。包括:流動、傳熱和湍流、生物技術之等離子、半導體、MEMS、航空航太和燃料電池等。
FloTHERM	電子元件系統散熱與設計	預測元件、PCB 板以及系統整體的氣流、溫度以及傳熱，並進行熱分析以及測試更改。
FloVENT	專門應用於建築通風	可預測三維氣流場現象，熱傳現象，濃度擴散現象及舒適性分析，進行建築物內外流場的模擬。
Flowmaster	分析大型管路和複雜之系統	可輔助系統工程師模擬急遽增壓和溫度和流體流速，並瞭解如何設計變更、調整組件的大小。
ANSYS CFX	空氣聲學、旋轉機械	滿足泵、風扇、壓縮機、燃氣渦輪和水力渦輪等旋轉機械應用的需求。
ANSYS Polyflow	工藝設計之產品模擬	利用模擬減少製造擠壓模具時的物理原型及厚度偏差，改善熱成型或吹塑產品的品質。模擬包括:擠壓、吹塑、玻璃、光纖拔絲和混凝土等熱成型。
ANSYS Vista TF	旋轉機械設計	可用於實現快速可靠的空氣動力學和流體動力學葉片設計。它就能夠讓工程師迅速開發出葉片幾何結構，實現所需的性能目標。

(資料來源:Phoenics、STAR-CD、TASCflow、CFD-ACE+、Mentor Graphics、Ansys 等網站，本研究整理)

2-5 小結

為符合本研究目的，並配合逢甲大學營繕組推動的「校園屋頂菜園」計畫為首要考量，本研究於逢甲大學忠勤樓東側之「盆鉢式綠屋頂」為研究對象。於盆鉢選定上，經表 2-2 評估，因「保綠植生盆」及「底部給水盆」擁有截水、維管方便快捷、阻止泥水漫流等特性，可避免屋頂層因過於潮濕而遭破壞，且該兩者結合傳熱之文獻解析盆體及媒材之物理面相上除了以土壤隔熱外，前者盆體下的儲水空間擁

有隔熱層之特性，後者即利用底部水體進行蒸散以抽離屋頂之熱量，故以此兩種盆體作為本研究之主要研究之載具；另外在盆鉢配置上，為避免日射而造成研究上過多的變因，經表 2-1 選擇要點表示，盆鉢式屋頂綠化其覆蓋面積達 80% 以上才有良好之隔熱效果，故於不同方案模擬中，除了盆鉢式屋頂農園模型雖配置設計上綠化覆蓋上面積設定須接近外，並以其文獻建議為設定基礎。

而為了探討綠屋頂對室內之影響，如圖 2-1 以受水平日射量影響程度最大之屋頂其下方室內為主要實測及方案模擬之場地，在舒適程度之指標評定上，透過工作使用類態以及預估當月之著衣量將數值輸入於 CFD 中計算，取得該空間之熱環境狀況，並以人體熱舒適度 PMV 指標以定量的方式來探討六種變數對人體的熱舒適性之影響。

對於表 2-10 風場相關之研究方法，多以具便利、低成本、計算快速、可縮短設計流程等特性之 CFD 數值模擬為主，如表 2-11 其中 Phoenix 與 FloVENT 較適合用於建築應用之模擬，而前者較針對建築之暖通空調以及建築大環境為主（上海飛熠網站，2015）；而 FloVENT 則以分析各種不同型態及尺寸的建築流場為主，並可分析室內外部之舒適性及空氣品質等問題（易富迪科技網站，2015），故本研究以 FloVENT 做為建築氣流場之電腦模擬軟體。

第三章 實測與驗證之方法及結果

本章主要分為「現地實測方法與結論」與「CFD 數值模擬方法及驗證」兩個部份，3-1 主要目的為獲取實地現況資料以作為數值模擬之基礎設定及驗證比較使用；3-2 主要了解 CFD 模擬之方法以及將實測與數值模擬之兩者結果進行驗證比對以驗證 CFD 之可信度。

3-1 現地實測方法與結論

本節分為「實測方法」及「數據選定」，並將其現況資料做為數值模擬之模型設定。

3-1-1 實測方法

1. 實測對象：

本研究為了探討屋頂綠化對室內溫度的影響，以施作完畢之逢甲大學忠勤樓 8 樓東側綠屋頂(圖 3-1)及其下方 710 學生工作室作為實測對象，而忠勤樓樓高約 32m，則鄰近建築物樓高約 15m，故實測場地其餘遮蔽之限制，而本次研究主要氣候資料引用於中央氣象局-台中測站，故數據分為現地實測及中央氣象局之資料擷取。

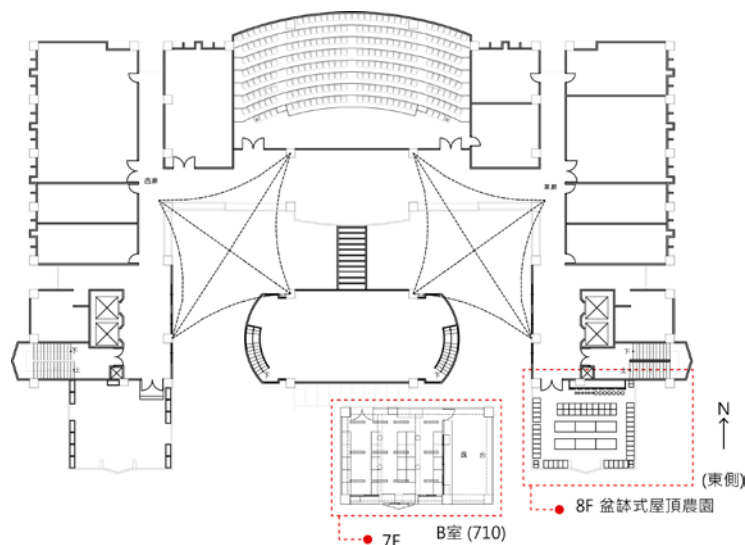
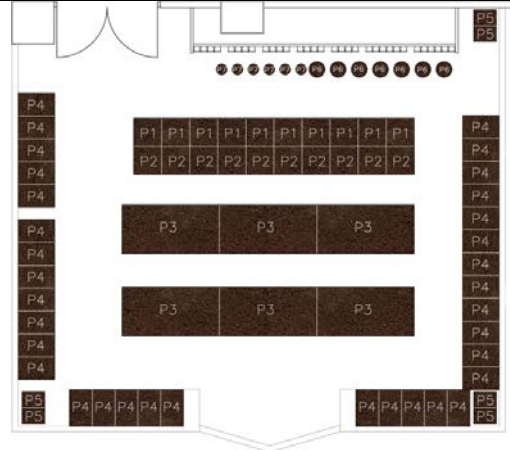


圖 3-1 實測場地位置示意圖

(資料來源:逢甲大學營繕組，本研究繪製)

表 3- 18F 盆鉢式屋頂農園之現況表

盆鉢式屋頂農園			
	長寬	樓板面積	
	7.98x9.3 m	70.757m ²	
	綠化覆蓋率	綠化覆蓋面積	
	38.5%	21.303 m ²	
	資材結構		
	編號	尺寸(cm)	數量(個)
P1	53 × 53 × 15	10	
P2	53 × 51 × 25	10	
P3	184 × 92 × 40	6	
P4	69 × 43 × 24	34	
P5	43 × 30 × 52	6	

盆鉢圖片				
P1 保綠植生盆	P2 植栽箱(平放)	P3 不鏽鋼截水盆	P4 底給水植生盆	P5 植栽箱(架高)
				

(資料來源:本研究繪製)

2. 儀器選用

以泰仕電子出產之「溫濕度預約時間自動記錄型」儀器做為本研究室內及室外之溫度測量之工具，如表 3-2。

表 3- 2 儀器規格與性能表

儀器名稱與型號	溫濕度計預約時間自動記錄型	圖片	
感應器組成	溫度:快速反應型熱敏電阻感測器。		
資料輸出	RS-232 電腦連接介面		
精確度	溫度: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (0.9°F) 濕度: $\pm 3\%\text{RH}$ (25°C 時, $30\sim 95\%\text{RH}$) $\pm 5\%\text{RH}$ (25°C 時, $10\sim 30\%\text{RH}$)		
工作環境	溫度: $0\sim 60^{\circ}\text{C}$ 相對溼度: $95\%\text{RH}$ 以下		
測量範圍	$10\%\sim 95\%\text{RH}$ $-20^{\circ}\text{C}\sim +60^{\circ}\text{C}$; ($-4^{\circ}\text{F}\sim +140^{\circ}\text{F}$)	解析度	溫度: 0.1°C 濕度: $0.1\%\text{RH}$
資料儲存筆數	手動:99 組，自動:15000 組		
出產公司	泰仕電子工業股份有限公司	自動關機	30 分鐘

(資料來源: 泰仕電子工業股份有限公司、本研究整理)

3. 實測方法

實測方法總共分為實測流程、實測期間、測點設置規劃詳述如下：

一、實測流程：

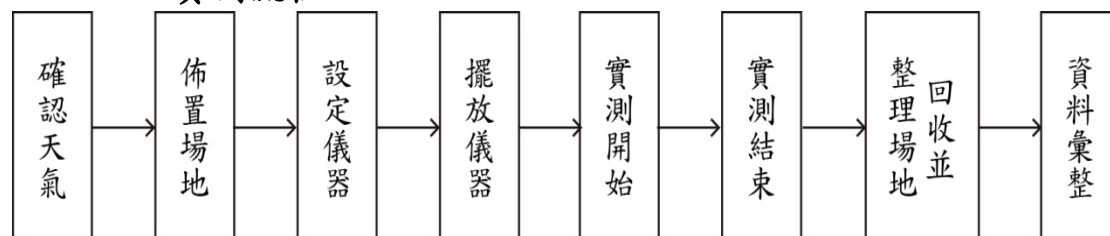


圖 3-2 實測流程圖

(資料來源:本研究繪製)

二、實測期間

為了探討在炎熱環境中可利用屋頂形式的不同而對室內熱環境有所改善之程度，根據表 3-3 為中央氣象局 1992~2010 之統計表，其最炎熱月份為六月至九月。

表 3-3 台中市 1992-2010 之月份統計表

月份感覺	月分	氣溫℃	風速 m/s	相對濕度%
寒冷月份	1 月	16.6	1.7	74.6
	2 月	17.3	1.6	76.8
	3 月	19.6	1.6	76.6
舒適月份	4 月	23.1	1.4	77.3
	5 月	26	1.4	77.1
炎熱月份	6 月	27.6	1.5	77.9
	7 月	28.6	1.4	75.6
	8 月	28.3	1.4	77.6
	9 月	27.4	1.4	75.8
舒適月份	10 月	25.2	1.6	72.6
	11 月	21.9	1.6	72.7
寒冷月份	12 月	18.1	1.6	72.3

(資料來源:中央氣象局、本研究整理)

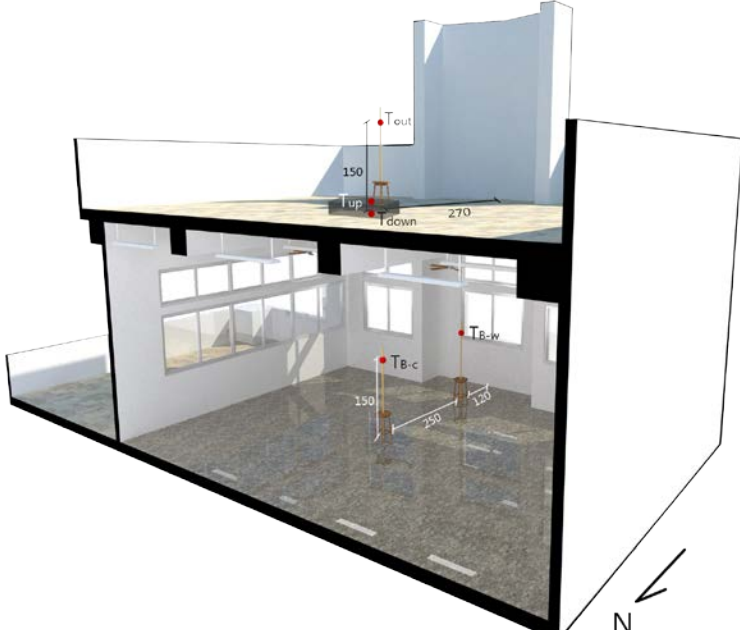
為了探討室內東西曬之變因，實測分為三個時段，每次 10 分鐘，故第一個時段位於上午 9:00-9:10 分；第二個時段為上午 12:00-12:10 分；第三個時段為下午 15:00-15:10 分。

三、測點設置規劃

為了測得數值模擬驗證之比對數據，需測得該地之外氣候與盆鉢式屋頂農園下方 710 學生工作室等兩處之實測數據。

於室內部分以人位於空間中行走及作業的範圍，並位於空間中央及靠窗各設置一點，以了解內部差異及開口變因；於室外分別對土壤上方及盆鉢下方空隙實測，偵測頭及儀器皆以紙片覆蓋以避免陽光直射，詳表 3-4。

表 3-4 測點位置與編號詳表

實測點示意圖(8F 盆鉢式屋頂農園、710 學生工作室)									
									
室內測點擺放實景		偵測頭(室內)			室外測點擺放實景			偵測頭(室內)	
									
中央氣象局					實地測量				
外氣溫度	風速	風溫	風向	雲量	室外			室內	
					外氣溫	盆鉢		710 學生工作室	
						表面	下方	中央	靠窗
T	W _S	W _T	W _D	CL	T _{out}	T _{up}	T _{down}	T _c	T _w

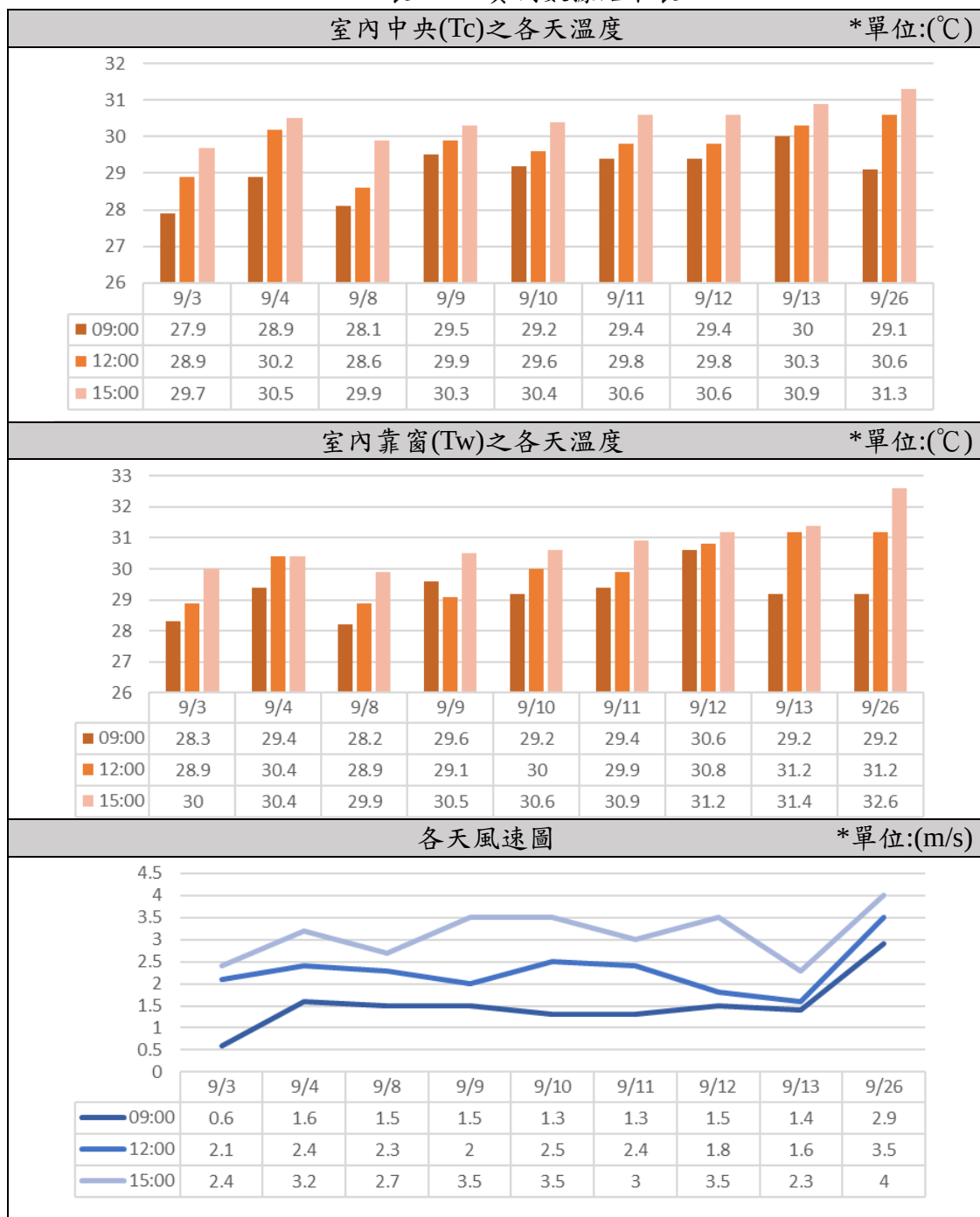
(資料來源:本研究繪製)

3-1-2 實測數據結果

本節之實測結果主要目的在於，將該實測之數據與結果作為數值模擬之準確性驗證比對依據，則其餘變因於 3-2 章數值模擬中探討，故在此節僅從實測數據中選定適合使用於模擬之數據。

一、實測溫度與風速結果

表 3-5 實測數據結果表



(資料來源:本研究繪製)

二、數據選定

如表 3-6 透過趨勢線判斷實測數據可於驗證比較之可用性，並排除儀器是否因機器問題、強陣風或氣候等外在因素造成不穩定之結果，故本研究僅採用較相對穩定之 9 月 3、8、12、26 等四日，以供 CFD 模擬數據之驗證比較來源。

表 3-6 溫度趨勢線圖表



*單位:(°C)

(資料來源:本研究繪製)

3-2 CFD 數值模擬方法及驗證

本節分為「模擬方法」及「驗證結論」，以驗證該模擬之有效性。

3-2-1 模擬方法

1. Flo VENT 運算流程

如圖 3-3，先將邊界條件設定為初始值，解三維動量方程式得到新的速度場，之後解質量守恆(壓力修正)方程式，更新三維速度和壓力值，再解能量守恆方程式，得到新的溫度值，將動量方程式、質量守恆及能量方程式利用有限體積元素法計算所得到新的三維方向速度、質量守恆方程式以及能量方程式和未更新前的三維方向速度、質量守恆及能量方程式作比較判斷是否達到收斂條件，若收斂則可停止程式計算，進行後處理分析；若未達到收斂，則繼續利用其他流場性質條件當作初值，並重複以上數值之演算，直到收斂。計算收斂條件設定為所有節點(node)上的三維方向速度和連續方程式餘數(residual)的均方根(root mean square) $\geq 10^{-3}$ ，而能量方程式餘數均方根值 $\geq 1e-7$ 為收斂(呂學明，2000)。

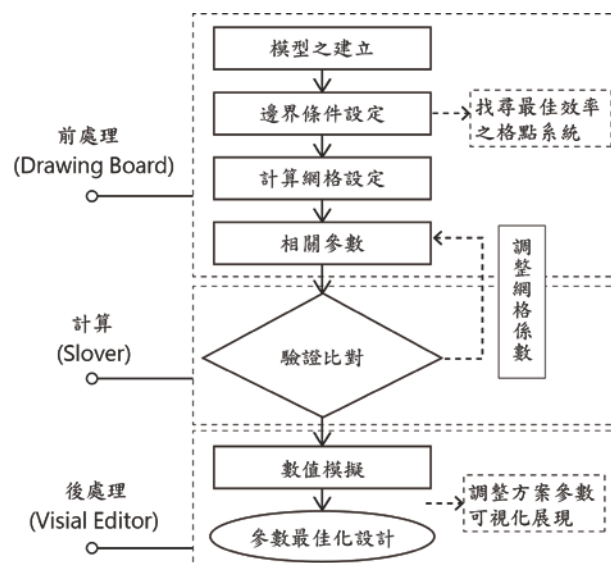


圖 3-3 Flo VENT 運算流程圖

(資料來源:蔡立偉，2015、本研究重新繪製)

以 FloVENT 之內建功能將實際空間重現於電腦中，並藉由實地現況資料做為其環境條件及模型設定，並利用邊界條件找尋最佳效率之格點系統，將基本設定完成後進行數值計算，並以收斂程度做為設定參數之基準，直至收斂完成後，得以將可收斂完成之該設定做為往後模擬之基本參數。

2. FloVent 概述

如表 3-7，FloVENT 可用於預測三維氣流場現象及濃度擴散現象及舒適性分析，並協助使用者迅速發現熱設計問題所在（易富迪科技網站，2015）。

表 3-7 FloVENT 數值模擬之適用範圍

適用範圍	各類模擬概說	
中庭、購物中心和辦公大樓；實驗室、研究設施、醫院和地下停車場；劇院、機場碼頭、倉儲設施和倉庫；電話交換機、數據中心。	無塵室設計	從學理上驗證與評估無塵室性能。
	建築通風	舒適度、通風效能與節能與的應用並考慮太陽輻射效應分析。
	冷凍空調	應用於電腦機房熱管理，目標在設備冷卻得均溫與節能。
	建築外部流場	結合氣象與地形，風場微氣候之應用。
	火災模擬	煙控與防災安全的應用。
	污染防治	有毒氣體濃度擴散預測。

(參考資料:易富迪科技網站，2015、本研究整理)

除了獲得三維氣流場與溫度場結果外，如下表 3-8，並可藉由 FloVENT 內建舒適度參數之輸出(Comfort Indices export)功能，獲得更多室內熱環境之資訊並利用該資訊進行室內熱環境進行相關分析。

表 3-8 FloVENT 內建舒適度參數輸出表

參數名稱	舒適度指數	溫度參考指數	空氣溼度	空氣循環指數
	PMV, PPD	MRT, Draft Temperature	Percentage Saturation	LACI, LMA

(參考資料:易富迪科技網站，2015、本研究整理)

3. 風廓線模型之建置(wind profile):

本研究之風廓線模型主要透過 Mentor Graphics 公司所提供的 FloVENT Boundary Layer Generate 網站進行生成(如圖 3-4)，根據所需

之數據進行收集後導入，並藉由該站之數學公式進行計算(詳如公式 2)。

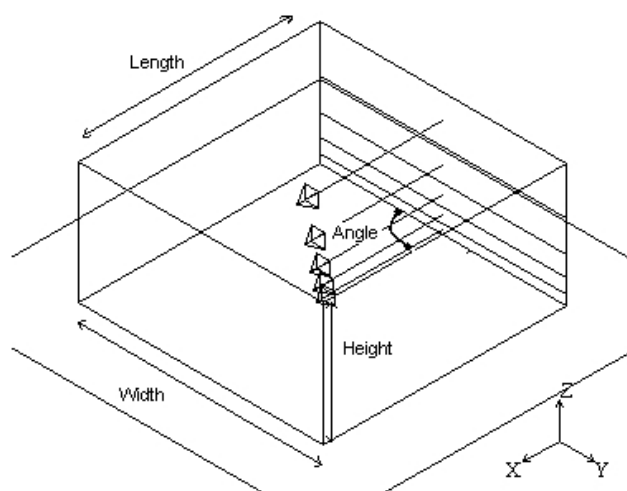


圖 3-4 FloVENT Boundary Layer Generate 風廓線模型生成解說圖

(資料來源: FloVENT Boundary Layer Generate, 2015)

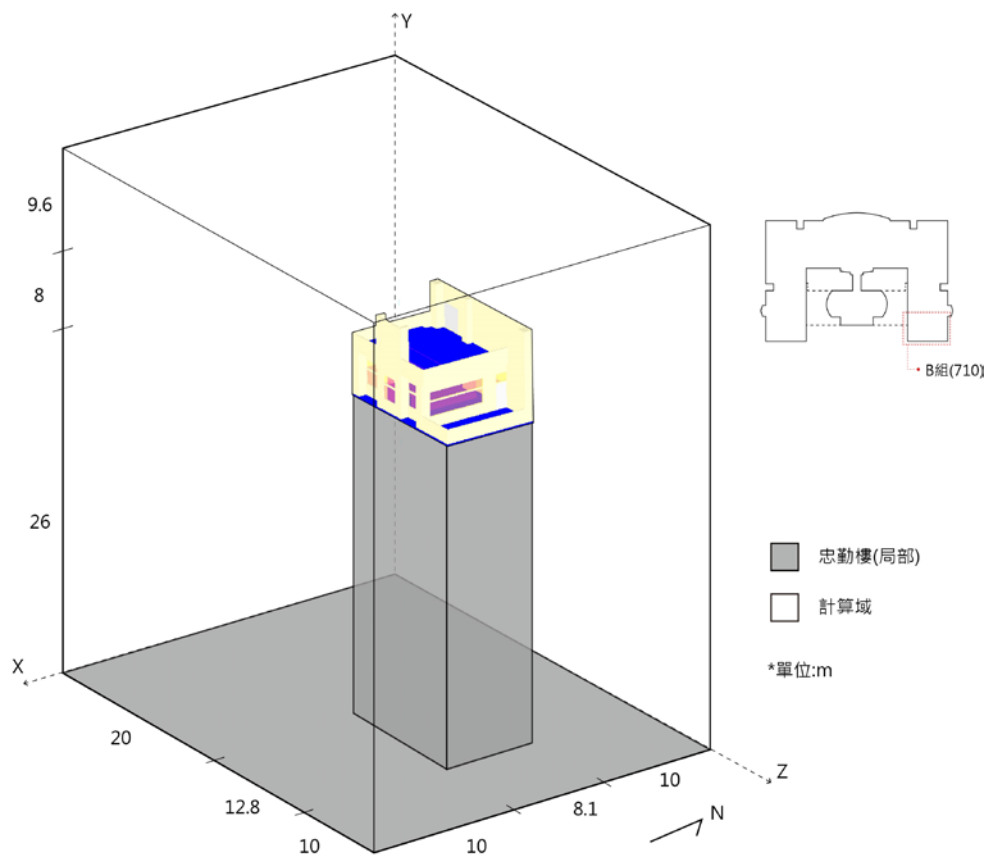
4. 數值模擬設定

如表 3-9，根據 3-1-2 小節之結論選定 9 月 3、8、12、26 等四日做為模擬驗證之主要環境背景設定。透過文獻及實地現況資料，設定影響室內熱環境之風廓線模型、材質、計算環境等因素，並透過 CFD 內建之功能進行建築本體之模型建置(如圖 3-5、3-6)，並建置測點與分析區塊以獲取室內熱環境之數據。

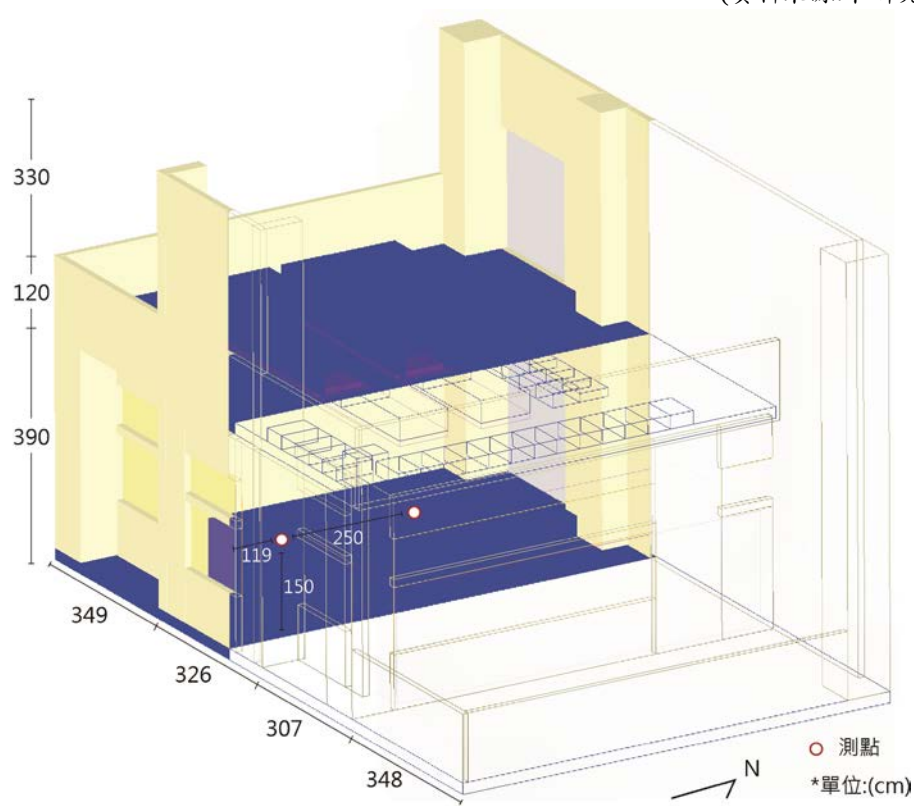
表 3-9 四日之溫度數據設定值

日期	時間	緯度	環境溫度 (°C)	太陽輻射熱 (w/m ²)	風速 (m/s)	風向	雲量
9/3	9:00	24°	28.7	250	0.3	40°	0.7
	12:00		30.7	274	1.8	290°	0.7
	15:00		32.5	334	1.1	270°	0.6
9/8	9:00		28.3	584	1.8	10°	0.3
	12:00		31.7	270	1.1	340°	0.7
	15:00		32	330	2.5	340°	0.6
9/12	9:00		27.7	333	1.4	290°	0.6
	12:00		30.7	365	0.8	350°	0.6
	15:00		30.8	499	3.4	340°	0.4
9/26	9:00		29.4	494	1.5	310°	0.4
	12:00		30.8	182	3.4	330°	0.8
	15:00		31.8	164	4.3	350°	0.8

(資料來源:本研究繪製)



(資料來源:本研究繪製)



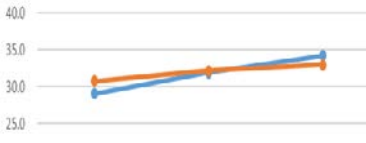
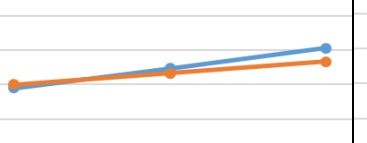
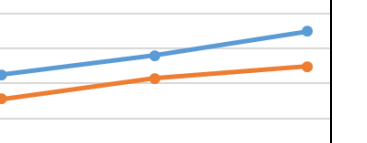
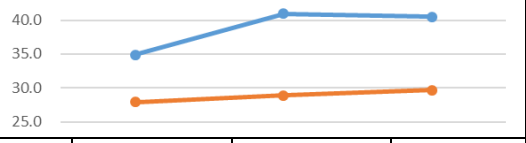
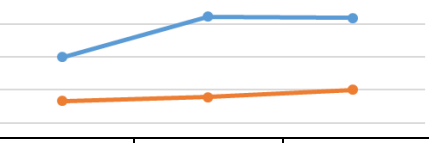
(資料來源:本研究繪製)

3-2-1 驗證結果

一、實測與模擬之比較結果表

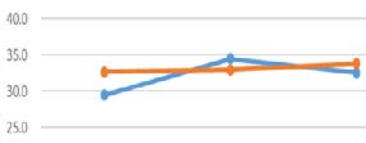
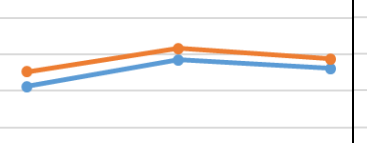
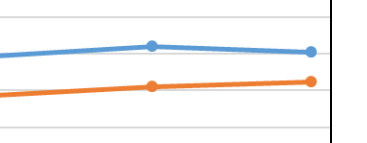
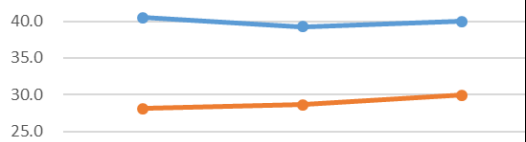
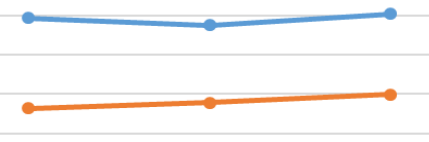
因實測數據之結果數據為溫度，故本節主要以溫度做為指標，並將實測與模擬結果之測點結果進行比較，以驗證數值模擬之可用性。

表 3-10 9月3日實測與模擬之比較結果表

外氣溫				T _{up}			T _{down}		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00
CFD	29.1	31.9	34.2	29.4	32.4	35.3	31.3	34	37.4
實測	30.8	32.2	33	30	31.6	33.3	27.8	30.7	32.4
T _w				T _c			圖例		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00			
CFD	34.9	40.9	40.5	34.9	41.1	40.9	*單位: (°C)		
實測	27.9	28.9	29.7	28.3	28.9	30			

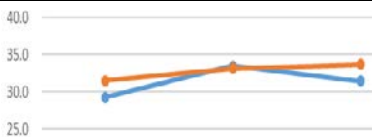
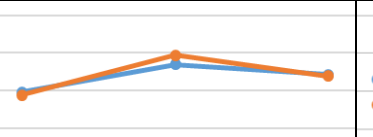
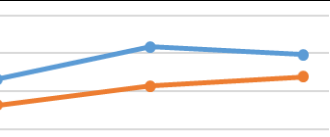
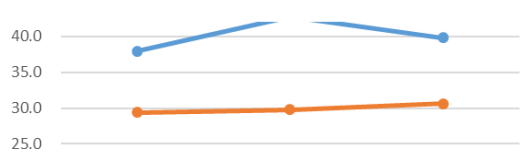
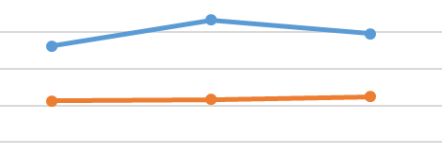
(資料來源:本研究繪製)

表 3-11 9月8日實測與模擬之比較結果表

外氣溫				T _{up}			T _{down}		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00
CFD	29.5	34.5	32.6	29.4	32.4	35.3	31.3	34	37.4
實測	32.7	33	33.8	30	31.6	33.3	27.8	30.7	32.4
T _w				T _c			圖例		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00			
CFD	40.5	39.2	40	39.6	38.7	40.2	*單位: (°C)		
實測	28.1	28.6	29.9	28.2	28.9	29.9			

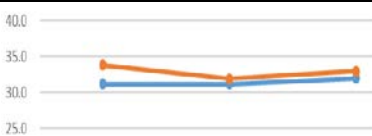
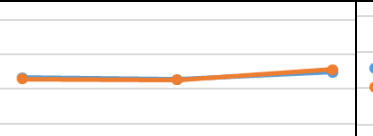
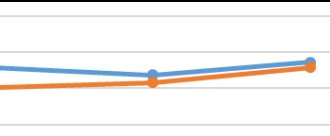
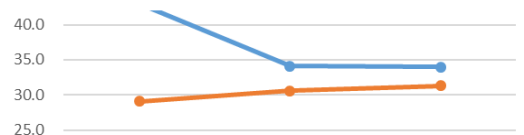
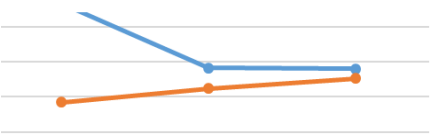
(資料來源:本研究繪製)

表 3-12 9 月 12 日實測與模擬之比較結果表

外氣溫				T _{up}			T _{down}		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00
CFD	29.3	33.5	31.5	29.8	33.4	32.1	31.6	35.9	34.9
實測	31.5	33.2	33.7	29.4	34.7	31.9	28.2	30.7	31.9
T _w					T _c			圖例	
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00			
CFD	38	42.8	39.8	38.1	41.6	39.7	*單位: (℃)		
實測	29.4	29.8	30.6	30.6	30.8	31.2			

(資料來源:本研究繪製)

表 3-13 9 月 26 日實測與模擬之比較結果表

外氣溫				T _{up}			T _{down}		
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00
CFD	31.2	31.2	32	31.7	31.3	32.4	32.8	31.8	33.6
實測	33.8	31.9	33	31.4	31.3	32.8	30.1	30.8	32.9
T _w						T _c			圖例
									
時間	9:00	12:00	15:00	9:00	12:00	15:00	*單位: (°C)		
CFD	43.1	34.1	34	43.2	34.1	34			
實測	29.1	30.6	31.3	29.2	31.2	32.6			

(資料來源:本研究繪製)

二、實測與模擬之驗證結論

1. 當太陽輻射熱低於 $200(\text{w}/\text{m}^2)$ 之時段為 26 日之 12:00 及 15:00。如上表結果，於 T_{down} (盆鉢下方溫度) 部分，模擬結果除 26 日 12:00、15:00 與實測較相近外，其餘模擬之 T_{down} 結果差值較大(約 5°C 以下)；於室內中，9 月 26 日 12:00、15:00 時，實測與模擬溫度也最為接近(約 0.9~4.1% 間)。另外，26 日 12:00 及 15:00 之風速為較高風速，其差值最低為 0.9%；故根據推測，雖太陽輻射熱影響為室內溫度之主要因素，而在風環境上風速高時亦可降低實測與模擬之差值，則風速低反之；故於數值模擬實驗時，主要選擇太陽輻射熱於 $200 (\text{W}/\text{m}^2)$ 以下且風速最高之日做為模擬設定之參考。
2. 以網格提升模型之可信度及數據計算之效率，其網格間距設定採由疏而密，越靠近模型越密則環境反之，而在室內方面則對室內靠窗及中央分別設置網格加密(Region)以便分析室內各區之變因。
3. 如下表 3-14，於模型材質之熱傳透以及門窗之孔隙進行測試設定中可知，比起材質之設定其門窗開口設定影響較大，由此得知，於數值模擬中風環境因子影響程度大，故往後模擬應以孔隙率 50% 以上作為設定值，以符合環境使用狀況。

表 3-14 模型材質與門窗孔隙率設定測試表

環境設定				
環境溫度	太陽輻射熱	風速	風向	雲量
29.4°C	$494 \text{ w}/\text{m}^2$	1.5 m/s	310°	0.4
模型結果				
Sample	窗體孔隙率 盆鉢熱傳導率	5%	50%	Open spce
	0.1、0.4 w/m^2	43°C	32.8°C	30.7°C
	0.26、0.54 w/m^2	43.1°C	32.8°C	30.8°C
	0.56、0.84 w/m^2	43.5°C	33°C	31°C

(資料來源:本研究整理)

第四章 方案模擬實驗之設定與結果

本章主要說明實測之過程，主要分為「方案模擬實驗設定」及「方案模擬實驗結果與結論」兩部分，4-1 節主要根據文獻、實地現況資料及 3-2 節之結論做為模型之基礎設定值，其驗證結果表示，該實測與模擬兩者最低差值範圍約 0.9~4.1% 之間，代表數值模擬之結果可信度高；4-2 節主要針對盆鉢式屋頂農園及其下方室內環境進行延伸模擬實驗，不僅透過模擬來得知不同盆鉢式屋頂農園對室內熱環境的影響，並根據該結果提出優化的方案與策略。

4-1 方案模擬實驗設定

透過雙層屋頂構造、空氣層與通風口除了可杜絕太陽輻射外，更可利用通氣層透過風來排除熱量，故本研究並利用盆鉢之間距創造通風層，並針對同型式之盆鉢式屋頂農園對室內熱環境進行探討。

4-1-1 模型條件：

1. 環境設定：

如表 2-3 敘述，建築物外殼之通風層可透過風將熱量移除，故本研究主要探討之物理環境因子以風為主，如下表 4-1，本研究以其中風速最高之日(9 月 26 日)做為環境之基礎設定。

表 4-1 9 月 26 日之當日環境設定表

日期	時間	緯度	環境溫度 (°C)	太陽輻射熱 (w/m ²)	風速 (m/s)	風向	雲量
9/26	9:00	24°	29.4°C	494	1.5	310°	0.4
	12:00		30.8°C	182	3.4	330°	0.8
	15:00		31.8°C	164	4.3	350°	0.8

(資料來源:本研究繪製)

2. 風廓線模型建置及計算域設定：

如下表 4-2 為風環境之設定值，如圖 4-1，為計算域示意圖，則藍

色部分為風板設置處，共分為三段風板，該日之各時段風向範圍約 310~350°，故風板設置為 L 型。

表 4-2 9 月 26 日 Boundary Layer Generate 數值一覽表

標示	高	寬	長	定流量	風板數	粗糙長度
數據	43.6m	28.1m	42.8m	Increasing	3	2 m
標示	風向		風速	等級指標	參考高度	重力風速
數據	9:00	310°	1.5	1.4	17.05m	Y
	12:00	330°	3.4			
	15:00	350°	4.3			

(資料來源:本研究繪製)

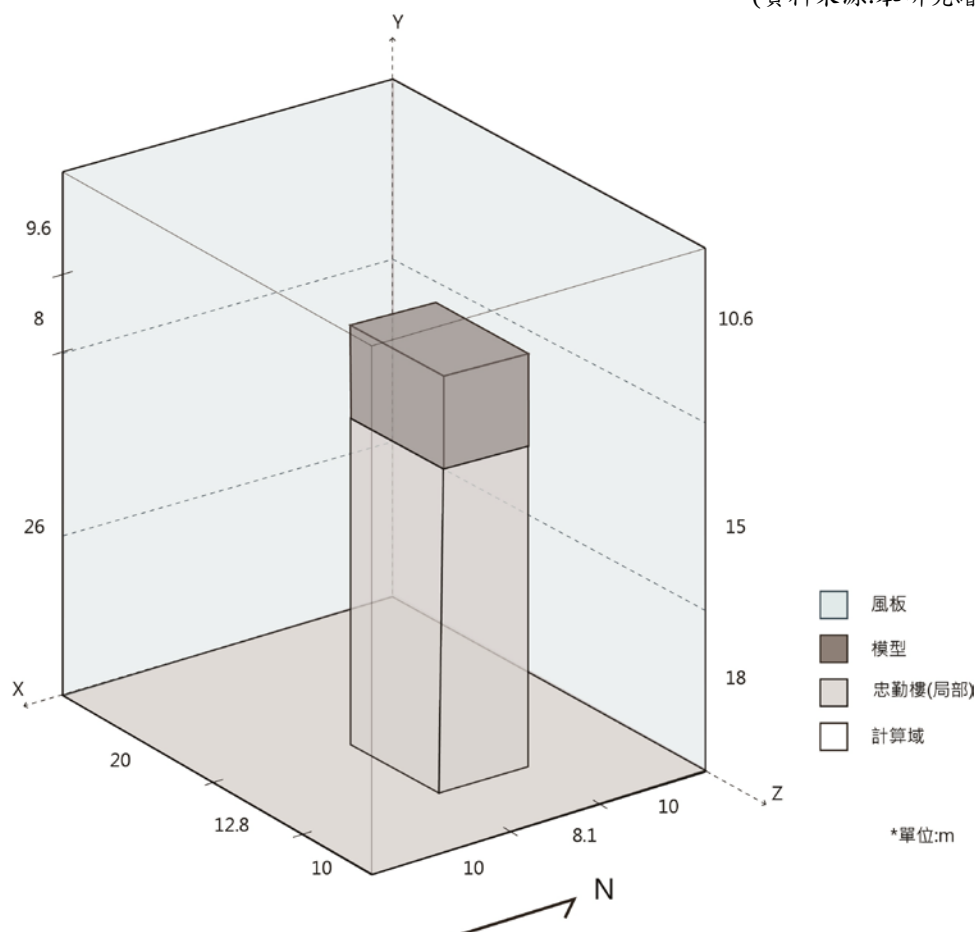


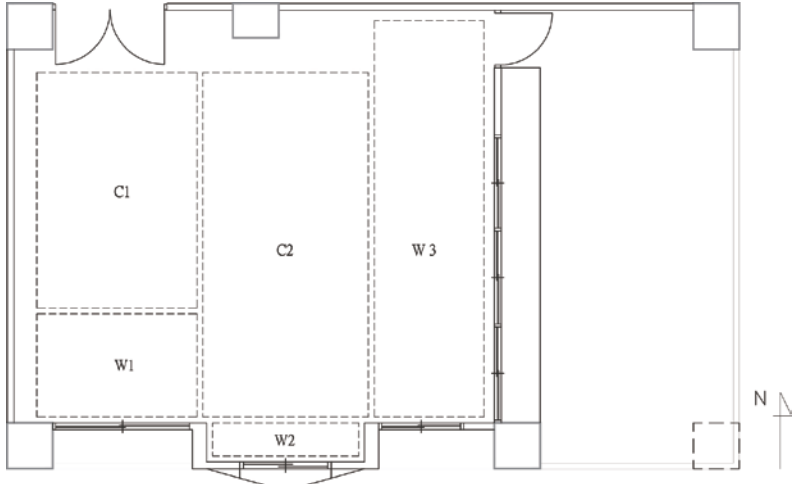
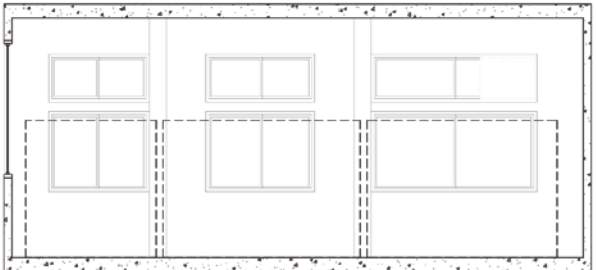
圖 4-1 計算域與風廓模型示意圖

(資料來源:本研究繪製)

3. 分析區塊建置(Region):

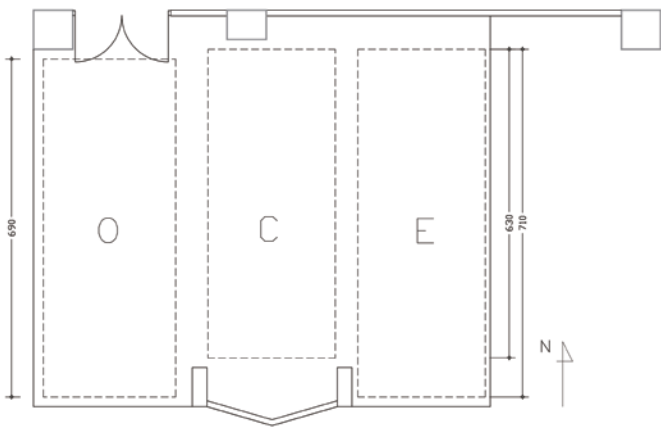
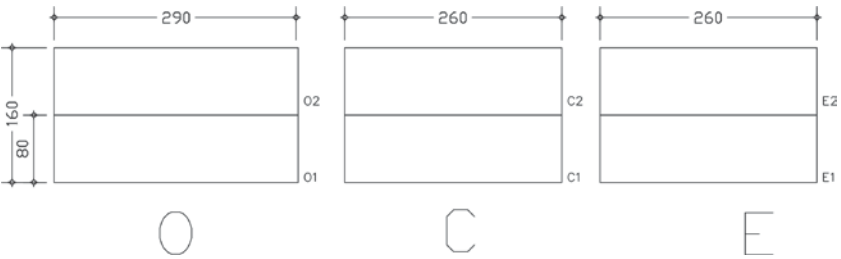
如表 4-3，為了測得室內整體狀況必須使用局部範圍的方法進行評估與分析以探討室內之熱環境(PMV、PPD 及溫度)；如表 4-4，室外部分透過該分析區塊來探討通風層之風速。

表 4-3 B、B1 及 B2 之室內分析區塊設置表

盆鉢式屋頂農園通風層分析區塊 Region 設置平面圖	
	各區塊尺寸 (cm)
	C1
	410×280
	C2
	600×290
	W1
	180×280
	W2
	58×256
	W3
	690×192
室內分析區塊 Region 設置立面圖	
	各區塊尺寸 (cm)
	H:200

(資料來源:本研究繪製)

表 4-4 B、B1 及 B2 之盆鉢式屋頂農園通風層分析區塊設置表

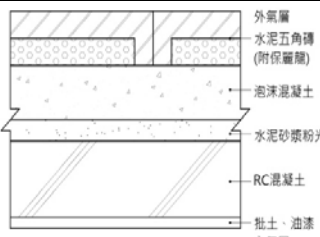
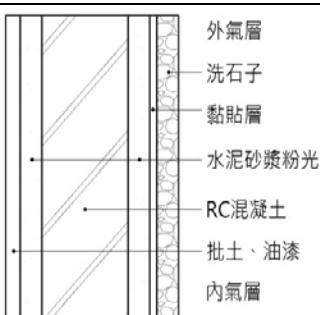
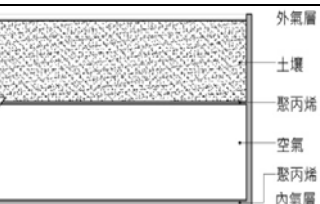
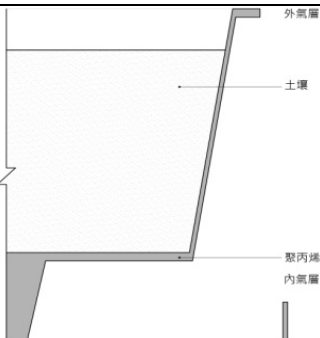
盆鉢式屋頂農園通風層分析區塊 Region 設置平面圖	
	
通風層分析區塊 Region 設置立面圖	
	

*單位:(cm) (資料來源:本研究繪製)

4. 材質熱傳透率：

如表 4-5，空間及盆鉢以現況並參表 2-4 做材質設定，B1 大組之盆鉢皆為保綠植生盆；而 B2 大組之盆鉢皆為不鏽鋼截水盆。

表 4-5 各材質之熱傳透率設定表

屋頂					
構造大樣示意圖	厚度 d (m)	熱阻係數 1/k(m · k/w)	熱阻 (m ² · k/w)	總熱阻 (m ² · k/w)	熱傳透率 (w/m ² · k)
	-	1/23.00	0.04	0.579	1.7
	0.05	1/1.5	0.033		
	0.05	1/0.17	0.294		
	0.02	1/1.5	0.013		
	0.07	1/1.4	0.05		
	0.01	1/1.5	0.006		
	-	1/7.00	0.143		
牆體					
構造大樣示意圖	厚度	熱阻係數	熱阻	總熱阻	熱傳透率
	-	1/23.00	0.04	0.2713	3.68
	0.015	1/1.4	0.0053		
	-	-	-		
	0.015	1/1.5	0.01		
	0.08	1/1.4	0.057		
	0.015	1/1.5	0.01		
	0.01	1/1.5	0.006		
-	1/7.00	0.143			
P1 保綠植生盆					
構造大樣示意圖	厚度 d	熱阻係數	熱阻	總熱阻	熱傳透率
	-	1/23.00	0.04	3.76	0.26
	0.065	1/0.15	0.43		
	0.002	1/0.1	0.02		
	0.075	1/0.024	3.125		
	0.002	1/0.1	0.02		
	-	1/7.00	0.143		
P3 不鏽鋼截水盆					
構造大樣示意圖	厚度	熱阻係數	熱阻	總熱阻	熱傳透率
	-	1/23.00	0.04	1.84	0.54
	0.25	1/0.15	1.66		
	0.003	1/16	0.00018		
	-	1/7.00	0.143		

(資料來源：內政部建築研究所，2005、本研究繪製)

5. 門窗設定:

如圖 4-2，紅色區塊設為開窗率 100%(open space)，其餘虛線框處窗體孔隙率設為 50%。

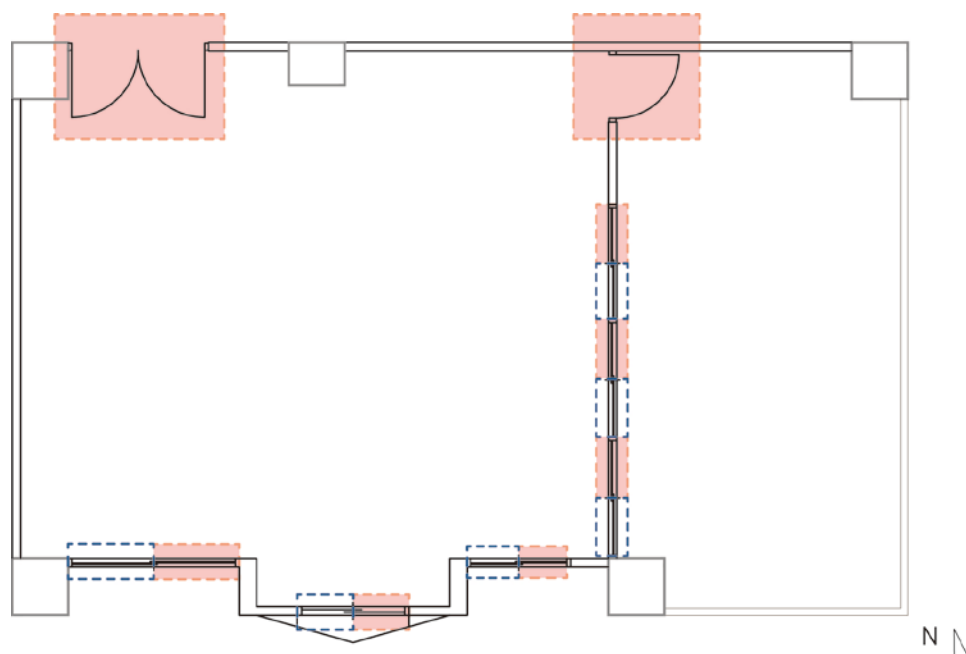


圖 4-2 B、B1 及 B2 之室內門窗與開啟位置平面示意圖

(資料來源:本研究繪製)

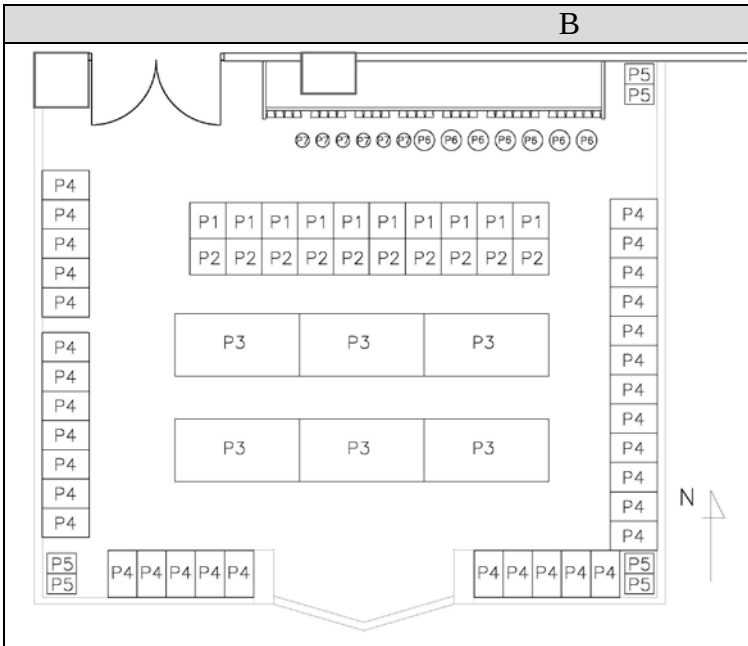
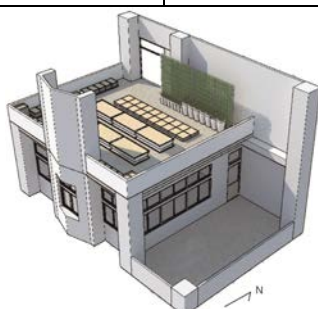
6.模型建置與設定:

以文獻、實地現況及驗證結果做為設定基礎，以原型 710 學生工作室為對照組(以下簡稱 B 組)，將 B 組上方盆鉢之形式改變後以材質不同分出 B1 與 B2 大組為實驗組；而又將兩大組於盆鉢間通風層之間距作變化，其模型相關之建置設定如下詳述。

一、對照組之模型設定:

如表 4-6，對照組之模型設定依實地現況於模擬軟體中進行建置。

表 4-6 對照組 B 組之上方盆鉢式屋頂農園形式表

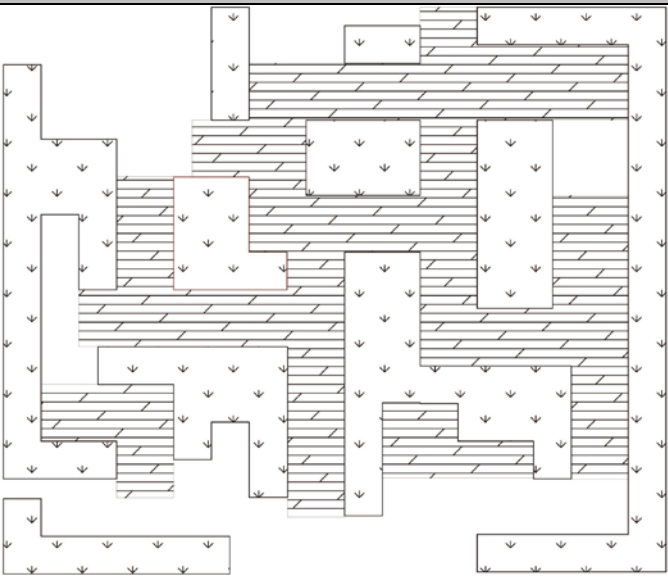
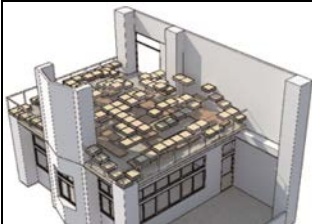
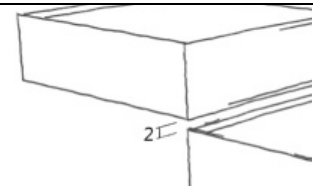
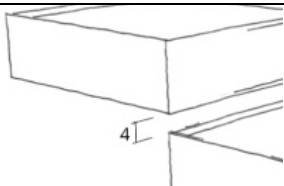
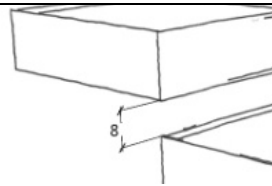
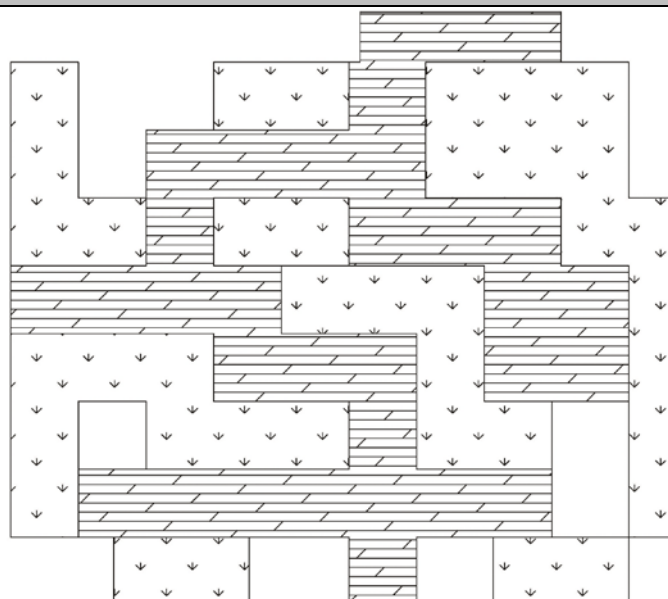
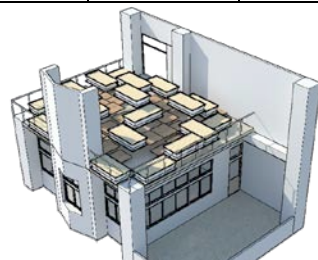
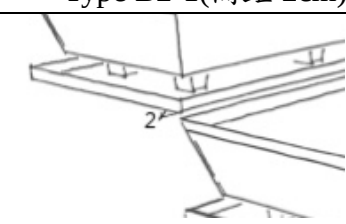
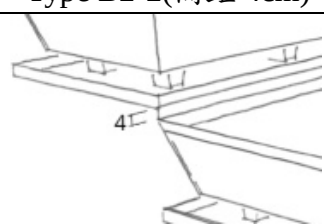
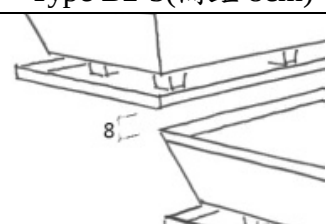
B		
	樓板總面積	70.757 m ²
	女兒牆	有
	盆鉢	
	盆鉢數量	79 盆
	覆蓋面積	21.303m ²
	覆蓋率	38.5%
	其他資訊	參表 3-1
		

(資料來源:本研究繪製)

二、實驗組之模型設定:

為了創建最大可能性，並探討盆鉢間之通風層所形成之風環境對室內之影響，故實驗組之設定上將女兒牆移除。綠覆率之覆蓋面積接近且達約 80%以排除因遮蔽面積所造成之差異，並以實際使用層面下考量另設有木平台做為臺階，以符合使用狀況，詳表 4-7。

表 4-7 實驗組 B1、B2 大組之盆鉢式屋頂農園形式表

B-1			
	總設施物	面積	56.6m ²
		覆蓋率	79.9%
		女兒牆	無
	木平台	面積	26.6m ²
		覆蓋率	37.5%
	保綠植生盆	數量	107 個
		面積	30m ²
		覆蓋率	42.4%
			
B1-1 (間距 2cm)		B1-2(間距 4cm)	
			
		B1-3(間距 8cm)	
			
B-2			
	總設施物	面積	57.5m ²
		覆蓋率	81.2 %
		女兒牆	無
	木平台	面積	27m ²
		覆蓋率	38.1%
	不鏽鋼截水盆	數量	19 個
		面積	30.5m ²
		覆蓋率	43.1%
			
Type B2-1(間距 2cm)		Type B2-2(間距 4cm)	
			
		Type B2-3(間距 8cm)	
			

(資料來源:本研究繪製)

7. 模型數據計算設定與評估指標:

1. 評估指標選定:

以溫度做為比較對照組與實驗組其減緩室內溫度之程度基準外，並透過 PMV 熱舒適程度來評估熱環境之舒適程度。

2. PMV 及 PPD 結果計算之設定:

如下表 4-8，以人體代謝及著衣量之理論做為 PMV 及 PPD 結果計算之設定基礎，將四項數據透過 CFD-FloVENT 來計算出 PMV 及 PPD 之值。

表 4-8 CFD 之 PMV、PPD 計算設定表

PMV already exists			
人體代謝量	外部功率 (預設值)	著衣量	水蒸氣分壓(預設值)
70 W/m ²	0 W/m ²	0.08 m ² °C/w	5.00E+02 pa

(資料來源:本研究繪製)

8. 變因設定:

為了探討不同盆鉢式屋頂農園對其室內產生之影響，可透過各項變因之設定進行模擬，其相關設定如下表 4-9。

表 4-9 變因設定

對象	變因			
外在環境	溫度		控制變因	如表 4-1
	太陽輻射		控制變因	
	風板		控制變因	如表 4-2
盆鉢 間高、大小、位置	對照組	B	控制變因	如表 4-6
	實驗組	B1	操縱變因	如表 4-7
		B2	操縱變因	
室內	門窗開口		控制變因	1/2:open space 1/2:50%
	家具		控制變因	無設置
	尺寸		控制變因	長:8.1、寬:32.8、高:3.7m
其他	代謝量		控制變因	70 W/m ²
	著衣量		控制變因	0.08 m ² °C/w

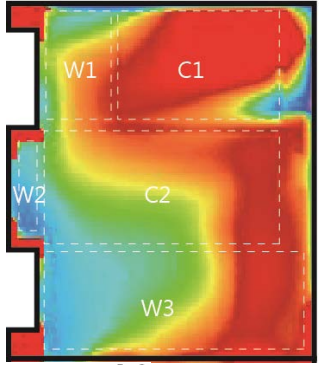
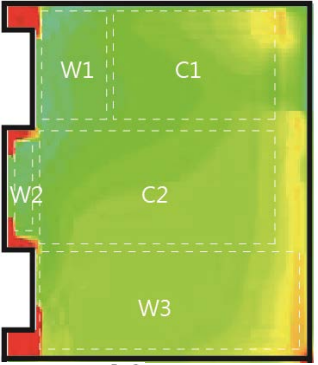
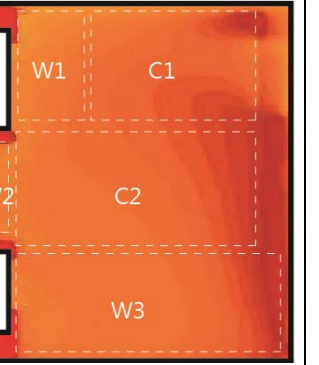
(資料來源:本研究繪製)

4-2 方案模擬實驗結果

經前敘設定後，透過數值模擬將對照組(B)及實驗組(B1、B2)進行溫度及 PMV 之模擬計算，其結果如下詳述。

4-2-1 對照組與實驗組之結果

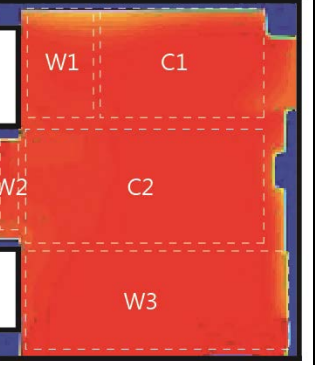
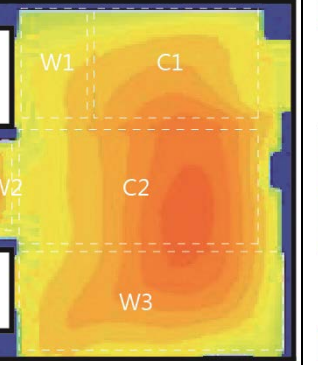
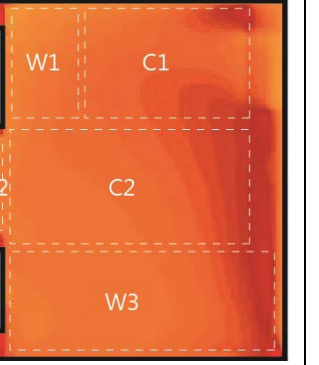
表 4-10 對照組 B 組溫度結果表

9 月 26 日									
29.5°C									33°C
Time	9:00			12:00			15:00		
B(對照組)									
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
	31.1		30.8	31		31.1	32		32.1
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
W (°C)	30.9	30.2	31.2	30.9	30.9	31.3	31.9	32	32.1

(*表數值為一區塊之平均)

(資料來源:本研究繪製)

表 4-11 對照組 B 組之 PMV 結果表

9 月 26 日									
1									5
Time	9:00			12:00			15:00		
B(對照組)									
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
	3.7		3.9	2.6		2.8	2.8		3.1
	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
W (°C)	3.8	4.3	5.1	2.6	2.8	2.8	2.8	3.1	3

(*表數值為一區塊之平均)

(資料來源:本研究繪製)

表 4-12 實驗組 B1 大組之溫度結果表

9 月 26 日									
29.5°C									33°C
Time	9:00			12:00			15:00		
B1-1(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
C (°C)	C1		C2	C1		C2	C1		C2
	29.7		30.1	30.8		30.9	31.8		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	29.9	29.9	30.2	30.8	30.9	30.9	31.8	31.9	31.9
B1-2(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
C (°C)	C1		C2	C1		C2	C1		C2
	29.7		30.1	30.8		30.9	31.8		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	30	29.9	30.2	30.8	30.9	30.9	31.8	32	31.9
B1-3(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
C (°C)	C1		C2	C1		C2	C1		C2
	29.7		30.1	30.8		30.9	31.8		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	30	29.9	30.2	30.8	30.9	30.9	31.8	31.9	31.9

(*表數值為一區塊之平均)(資料來源:本研究繪製)

表 4-13 實驗組 B1 大組之 PMV 結果表

9 月 26 日									
1									5
Time	9:00			12:00			15:00		
B1-1(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C	3.7		3.8	1.5		1.9	1.9		2.2
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	4.2	6.4	6	2.2	3.5	2.1	2.5	4.1	2.4
B1-2(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C	3		3.2	1.5		1.9	2		2.3
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	3.5	5.3	4.1	2.2	3.5	2.1	2.5	4.1	2.5
B1-3(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C	3.8		3.9	1.5		1.9	1.9		2.2
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	4.3	6.6	5.7	2.2	3.5	2.1	2.5	4.1	2.4

(*表數值為一區塊之平均)(資料來源:本研究繪製)

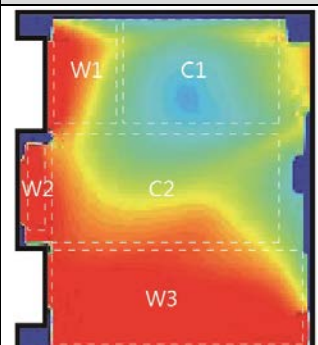
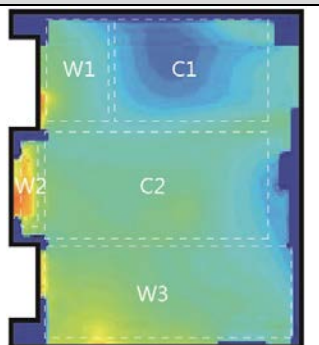
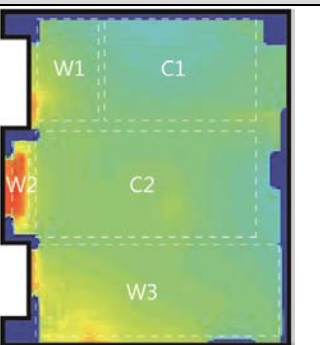
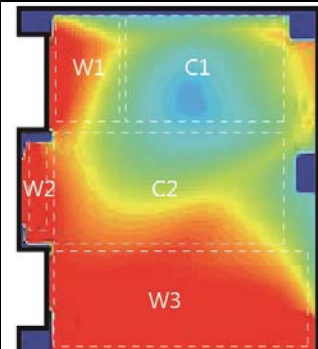
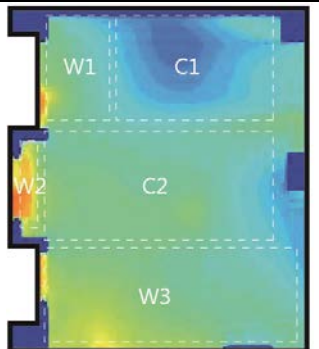
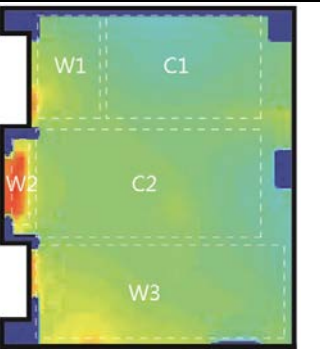
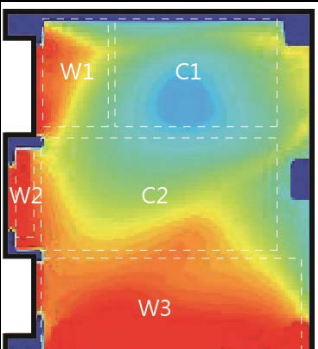
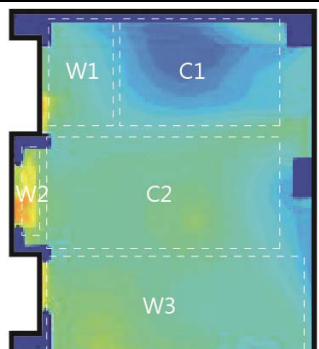
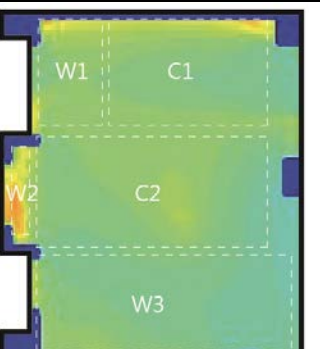
表 4-14 實驗組 B2 大組之溫度結果表

9 月 26 日									
29.5°C									33°C
Time	9:00			12:00			15:00		
B2-1(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C (°C)	30.2		30.2	30.9		30.9	31.8		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	30.2	29.8	30.6	30.8	30.8	30.9	31.8	31.9	31.9
B2-2(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C (°C)	30.3		30.1	30.9		30.9	31.9		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	30.3	29.9	30.4	30.8	30.8	31	31.8	31.9	31.9
B2-3(實驗組)									
	→ N			→ N			→ N		
	C1		C2	C1		C2	C1		C2
C (°C)	29.7		30	30.8		30.9	31.9		31.9
W (°C)	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3
	29.9	29.8	30.1	30.8	30.9	30.9	31.9	32	31.9

(*表數值為一區塊之平均)(資料來源:本研究繪製)

表 4-15 實驗組 B2 大組之 PMV 結果表

9 月 26 日 (分區示意參圖 5-4)

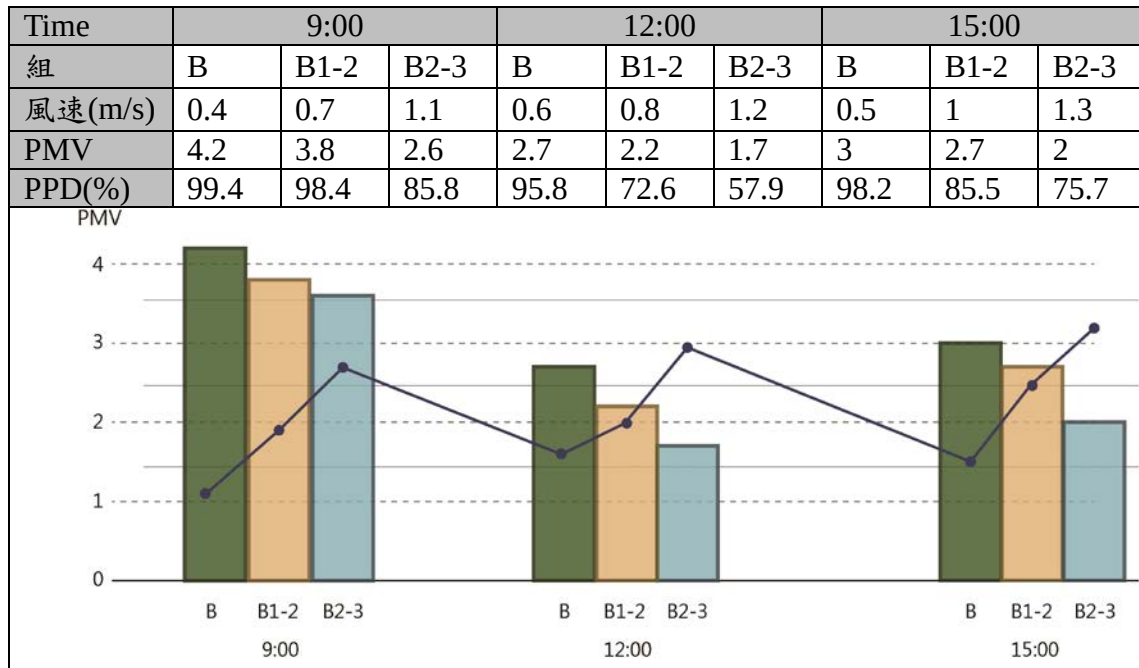
1										5
Time	9:00			12:00			15:00			
B2-1(實驗組)										
	→ N			→ N			→ N			
	C1		C2	C1		C2	C1		C2	
C	2.7		2.7	1.4		1.6	2.6		2.7	
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	
	3.7	5.3	5.6	1.7	2.3	1.9	2.7	3.1	2.7	
B2-2(實驗組)										
	→ N			→ N			→ N			
	C1		C2	C1		C2	C1		C2	
C	3		3	1.5		1.6	2.6		2.7	
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	
	3.6	4.5	4.5	1.7	2.3	1.9	2.8	3.1	2.8	
B2-3(實驗組)										
	→ N			→ N			→ N			
	C1		C2	C1		C2	C1		C2	
C	1.6		2.5	1.2		1.5	1.9		1.9	
W	W1	W2	W3	W1	W2	W3	W1	W2	W3	
	3.1	5	5.6	1.6	2.4	1.6	2.1	2.5	1.8	

(*表數值為一區塊之平均)(資料來源:本研究繪製)

4-2-3 以通風層探討實驗組之盆鉢式屋頂農園對室內熱環境之影響

表 4-16 為風速線與 PMV 之重疊比較圖，風速點為對照組與實驗組之盆鉢式屋頂農園其通風層 O 區塊之風速平均值，而直條的部分為對照組與實驗組其各區塊之 PMV 平均值。

表 4-16 B、B1-2 及 B2-3 通風層風速與室內 PMV 之平均值疊圖



(資料來源:本研究繪製)

4-3 方案模擬實驗結論

一、對照組(B)與實驗組(B1、B2 大組)之結果

透過 CFD 數值模擬之數據結果探討原型「對照組」(以下簡稱 B)與不同型式之盆鉢式屋頂農園之「實驗組」(以下簡稱保綠植生盆組為 B1、不鏽鋼截水盆組為 B2)。

1. 如表 4-17，於溫度表現上，9:00 時，B 為 30.8℃，而 B2-3 改善室內熱環境之程度較大，其溫度為 29.9℃；而 B1 大組間與 B2 大組間皆為同值(12:00 皆為 30.9℃、15:00 皆為 31.9℃)。

表 4-17 對照組與實驗組於各時段之溫度平均比較表

溫度 (℃)	類組	對照組	實驗組					
			保綠植生盆(B1)			不鏽鋼截水盆(B2)		
		B	間距 2 (B1-1)	間距 4 (B1-2)	間距 8 (B1-3)	間距 2 (B2-1)	間距 4 (B2-2)	間距 8 (B2-3)
	09:00	30.8	30	30	30	30.2	30.2	29.9
	12:00	31	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9
	15:00	32	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9

(資料來源:本研究繪製)

2. 於 PMV 表現上，如表 4-18 比較表示，於 12:00 時實驗組皆優於對照組，而 B2-3 之 PMV=1.7 為最優，降到 57.9%的人感到不舒適，B 組平均比 B1-2 多 0.5、PPD 則多 23.2%，比 B2-3 組多 1.1、PPD 則多 37.9%，代表 B1-2 組及 B2-3 組擁有減緩室內之溫度。

表 4-18 對照組與實驗組於各時段之 PMV、PPD 平均比較表

評定	類組	對照組	實驗組					
			保綠植生盆(B1)			不鏽鋼截水盆(B2)		
		B	間距 2 (B1-1)	間距 4 (B1-2)	間距 8 (B1-3)	間距 2 (B2-1)	間距 4 (B2-2)	間距 8 (B2-3)
PMV	09:00	4.2	4.8	3.8	4.9	4	3.7	3.6
	12:00	2.7	2.2	2.2	2.2	1.8	1.8	1.7
	15:00	3	2.6	2.7	2.6	2.8	2.8	2
PPD (%)	09:00	99.4	98.5	98.4	98.4	91.7	98.1	85.8
	12:00	95.8	72.9	72.6	73.1	64	64.8	57.9
	15:00	98.2	84.2	85.5	84.5	96.6	96.8	75.5

(資料來源:本研究繪製)

二、以通風層探討實驗組對室內熱環境之影響

1. 從風速及 PMV 疊圖可得知，其通風層之風速點越低，PMV 直越高，且風速點越高時，則反之。以 12:00 之時段為例，B 風速為 0.6 m/s 時其 PMV 值為 2.7，則 B1-2 風速為 0.8m/s 時，其 PMV 值為 2.2。則 B2-3 風速為 1.2m/s 時，其 PMV 值為 1.7；表示本研究之盆鉢形式可改善室內之室內之舒適度。
2. 於 9:00 時段時，雖環境溫度 29.4°C 為當日溫度較低之時段，但風速 1.5m/s 為當日之最低風速，且太陽輻射熱 494 W/m² 為當日之最高值，故造成對照組與實驗組之 PMV 皆超過 3，且對照組的部分 PMV 更超過 4 以上。而 15:00 時，雖風速 4.3m/s 為當日最高，且太陽輻射熱 164 W/m² 為最低，但因環境溫度 31.8°C 為當日最高，且於 15:00 時該空間西曬較為嚴重，因此造成該時段之 PMV 升高，故本次研究設定之盆鉢形式無法改善因太陽輻射熱所造成之影響。

小結:

從對照組與實驗組比較可得知，實驗組間之溫度較無差異性，其差異範圍落於 0~0.1°C 間，而 PMV、PPD 及溫度方面，實驗組皆優於對照組，故代表實驗組皆可減緩目前室內之熱環境；而就結果論，B2-3 方案之改善程度最大，雖溫度方面最大只比對照組低 1.4°C，而溫度平均僅低 0.4°C，但其方案於 PMV 及 PPD 值比較時，比對照組最大可低 1.1，且降低了 37.9%的人感到不舒適。

第五章 結論與建議

本研究以台中市環境數據做為研究背景，針對盆鉢式屋頂農園進行實測，取得實際環境參數後，進行 CFD 模擬驗證階段，確立 CFD 模擬可信度基礎之下，再進行可能方案之模擬實驗。其方案對下方室內熱環境之影響，可供台中市於盆鉢式屋頂農園配置初步規劃階段，作為改善室內環境舒適度之參考資料。

5-1 研究結論

- 一、 本研究之驗證方法是將實測與模擬兩者之結果進行比對，並以實測之數據來驗證數值模擬之可信度。於實測數據與模擬驗證之數據比較中，其實測與模擬之溫度差值最小約 0.9~4.1% 間，代表本研究之數值模擬初步比較結果可被採信。
- 二、 本研究以台中市之物理環境為背景，以保綠植生盆 B1 大組之 B1-2 及不鏽鋼截水盆 B2 大組之 B2-3，其兩組與對照組 B 做深入探討，如下兩點敘述。
 1. 於溫度方面，其實驗組於 9:00 時能減緩約 0.9℃，則於 15:00 時僅能減緩約 0.1℃，代表 B1-2 組及 B2-3 組於 9:00 時較能減緩室內之溫度，則隨著時間越長，其減緩溫度之效率越低。
 2. 本研究之方案模擬其盆鉢間之通風層能增加風量且提高風速，於模擬環境風速為 3.4m/s 時，當盆鉢形式改變後，風速從 0.6m/s 提高到 1.2m/s 時，其室內之 PMV 從 2.7 降為 1.7、PPD 從 95.8% 下降成 57.9%，共提升了 37.9% 的人感到舒適。由此證明通風層之風速越快，其改善室內之 PMV 程度越高，代表本研究之盆鉢形式可透過通風層之型式引入風或加快風速來改善室內之舒適度。

5-2 研究建議

於本研究中，就實測之綠屋頂與模擬之盆鉢式屋頂農園之配置形式來建立並預測該形式對室內熱環境所帶來的各別效益，以及於 CFD 電腦數值模擬中，計算軟體其模擬結果準確度之建議，以提供設計者與使用者於盆鉢式屋頂農園設計階段之參考，本研究建議如下詳述。

1. 本研究從數值模擬分析中發現，當窗戶孔隙率為 5%、盆鉢熱傳導率為 0.1W/m^2 及 0.4W/m^2 時，其室內為 43°C ；當窗戶孔隙率為 50%，盆鉢熱傳導率不變時，其室內為 32.8°C ；而當窗戶孔隙率為 50%、盆鉢熱傳導率為 0.56W/m^2 及 0.84W/m^2 時，其室內為 33°C ；由此得知，比起材質之熱傳導設定，其門窗開口所帶來的氣流風速因子影響程度較大。而於網格建立上 CFD 數值模擬之模型網格設置對模擬結果之信效度是重要的影響因素，根據設定測試中可得知，最大寬高比(maximum aspect ratio)於 10 以下，總格數(Total No. cells)不超過一千萬時，可提升準確性且收斂程度較高。
2. 本研究之盆鉢式屋頂農園「保綠植生盆」及「不鏽鋼截水盆」之形式擁有改善室內熱環境之能力，經數據表示，最大可提升 37.9% 的人感到舒適，故本研究之屋頂綠化形式可提供「臺中市政府辦理空氣污染防治基金補助設置低碳城市設施申請及審核作業要點」其中之公共區域綠建築設置-公共建築遮陽設施之施作參考。
3. 本研究受限於人力物力，僅實測台中市之炎熱月份(九月)，建議後續針對其餘月份進行實測數據採集，並可針對不同材質之隔熱性質(熱獲得、熱流失與輻射熱傳遞特性)對室內熱環境影響做調查研究，以利完整盆鉢式屋頂農園對室內熱環境之影響情形。

參考文獻

【學位論文】

- 1980 杜希聖。台灣地區屋頂構造隔熱性能之探討。碩士論文，國立成功大學工程技術研究所設計技術學程建築設計組，台南市。
- 1995 江哲銘，住宅單元空間模擬自然通風換氣對室內空氣環境影響之研究。碩士論文，國立成功大學建築研究所，台南市。
- 2002 林暉舜。建築開窗與窗簾對室內熱環境舒適度之影響研究。碩士論文，中國醫藥大學環境醫學研究所，台中市。
- 2006 秦子傑。垂直通風管對室內通風效益研究。碩士論文，臺北科技大學建築與都市設計研究所，臺北市。
- 2009 周佑亮。整合型建築外殼之陽台型式結合太陽能風扇對改善室內舒適度影響研究-以淡水地區為例。碩士論文，淡江大學建築學系碩士班，新北市。
- 2009 周佑亮。整合型建築外殼之陽台型式結合太陽能風扇對改善室內舒適度影響研究—以淡水地區為例。碩士論文，淡江大學建築學系碩士班學，新北市。
- 2009 歐陽乾錦。臥室空間室內舒適度與風水哲理之比對分析—以淡水地區為例。碩士論文，淡江大學建築學系碩士班學，新北市。
- 2010 余建志。室內濕度與溫度對舒適度指標影響之研究。碩士論文，屏東科技大學環境工程與科學系所，屏東縣。
- 2015 蔡立偉。外部風場對室內舒適度之影響- 新竹竹北若山二建築為例，碩士論文，逢甲大學建築學系，台中市。

【圖書】

- 1987 萬鑫森譯。基礎土壤物理學。台北市:茂昌圖書。

- 1994 黃漢泉。建築物理。台中市:黃漢泉。
- 1998 張世典、丁育群、陳若華。數地生態環境科技之風環境科技。
內政部建築研究所專題研究案:綠建築物與居住環境科技計劃，台灣。
- 1999 周鼎金。建築物理。台北市:旭營文化事業。
- 2000 丁育群、朱佳仁。高層建築物風場環境評估準則研議。內政部
建築研究所研究計畫成果報告，內政部建築研究所。
- 2000 陳啟中。建築物理概論。台北:詹氏書局。
- 2004 周鼎金。外遮陽暨屋頂隔熱，台北:內政部建築研究所。
- 2005 內政部建築研究所。建築物外遮陽暨屋頂隔熱:設計參考手冊。台北市:內政部建研所。
- 2013 蔡厚男。綠屋頂記術手冊。台北市:詹氏書局。
- 2015 內政部建築研究所。屋頂綠化技術手冊。新北市:內政部建研所。
- 2014 台灣綠屋頂暨立體綠化協會。天空之園。台北市:麥浩斯。
【期刊】
- 2011 張育森，賴允慧。綠屋頂的功能和技術。臺大農業推廣通訊雙月刊，(94)，7-13。
- 2004 鄭元良、賴榮平、江哲銘、周伯丞。不同構造類型歷史建築之室內溫熱環境研究－以宜蘭地區歷史建築為例。建築學報，56，151－164
- Abbriti, M. C. and Muzi G.(1995) , Indoor air quality and health effects in office buildings. Intl. Conf. Healthy Buildings in a Mild Climate. Italy. 1:185-95.
- 【網路資源】
- 上海飛熠。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自
<http://www.shanghaifeiyi.cn/downloads/documents/phoenics-copy/>

中央氣象局。各項氣候資料查詢。上網日期 20150903，檢自

<http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm>

台中氣象站。各項氣候站資料查詢。上網日期 20150903，檢自

<http://cwb.gov.tw/V7/eservice/docs/overview/organ/stations/46749/index.htm>

Green Roof 綠屋頂專題網頁。綠屋頂文獻查詢。上網日期

20150305，檢自 <http://hsiliu-greenroof.blogspot.tw/>

易富迪科技。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

<http://www.efd.com.tw/flovent.html>

Ansys。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

<http://www.ansys.com/>

CFD-ACE+。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

http://www.elitecrown.com.tw/index.php?action=prod_detail&p_id=8

FloVENT Boundary Layer Generate。CFD 資料建置。上網日期

20151011，檢自

<http://webparts.mentor.com/flovent/support/supp/webparts/boundrylaygen.jsp>

MentorGraphics。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

<http://www.simutech.com.tw/>

Phoenics。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

<http://www.cfd-online.com/Wiki/PHOENICS>

STAR-CD。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

[http://www.cd-adapco.com/products/star-cd%C2%AE\)](http://www.cd-adapco.com/products/star-cd%C2%AE)

The Engineering Toolbox。各項材質查詢。上網日期 20150720，檢自

http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html

TASCflow。CFD 資料查詢。上網日期 20151011，檢自

<http://www.ansys.com/zh-CN>